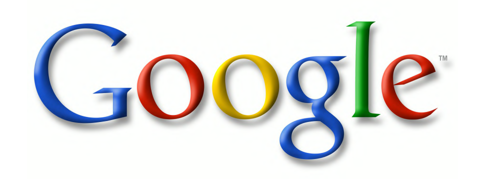
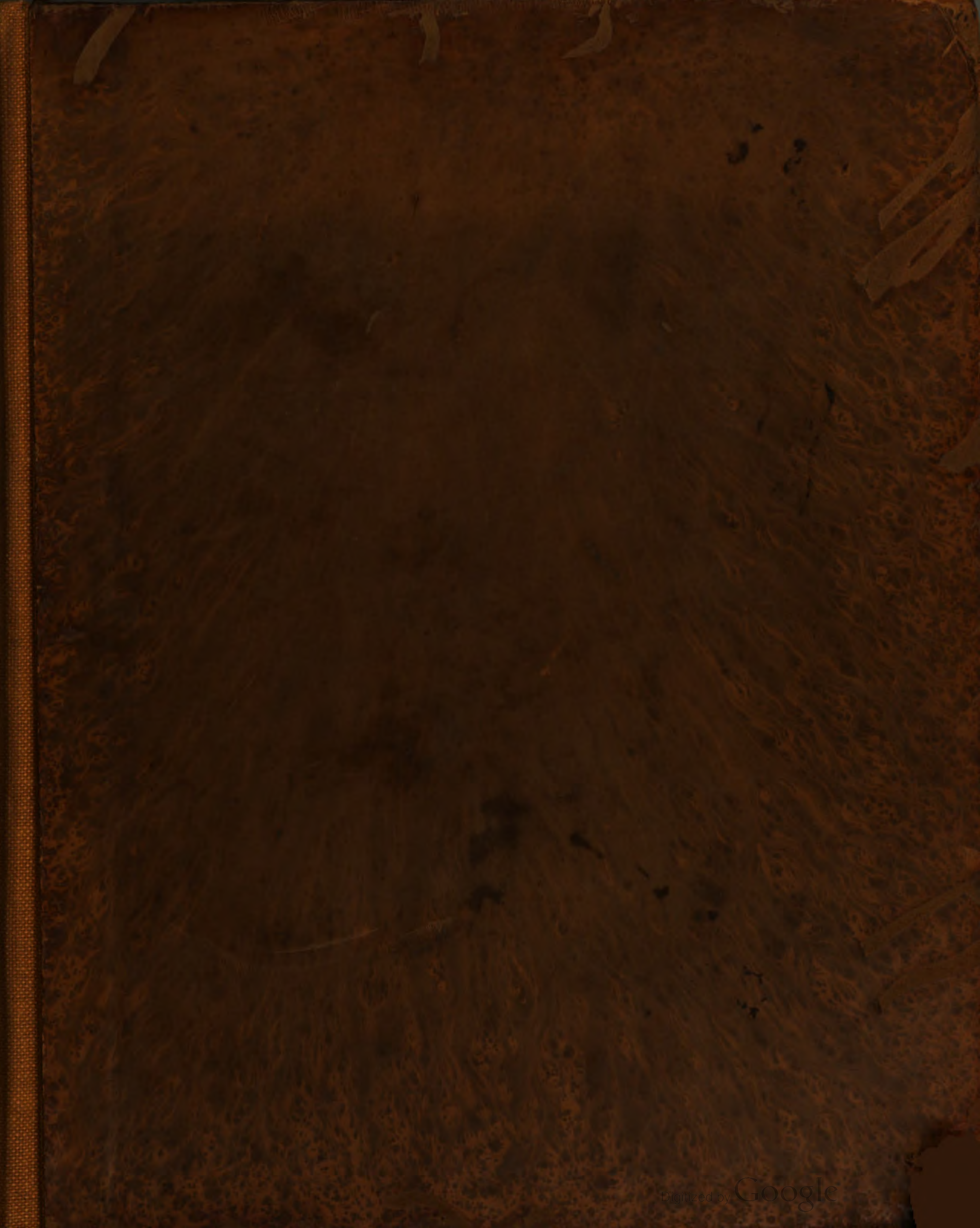






MÉMOIRES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT IMPÉRIAL

DE FRANCE.

TOME XXXVI.

MÉMOIRES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT IMPÉRIAL

DE FRANCE.

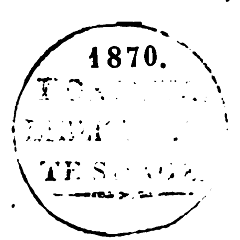
TOME XXXVI.



PARIS,

LIBRAIRIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES, FILS ET CIE

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT IMPÉRIAL, RUE JACOB, 56.



Paris. — Typographie de Firmin Didot frères, fils et Cie, rue Jacob, 56.

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS

DANS LE TRENTE-SIXIÈME VOLUME

DE LA NOUVELLE COLLECTION DES MÉMOIRES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

FIN DE LA TABLE DU TRENTE-SIXIÈME VOLUME.

INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE.

ÉLOGE HISTORIQUE

DE

MICHEL FARADAY

PAR M. DUMAS

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

Lu dans la séance publique annuelle du 18 mai 1868.

Au moment où l'Académie daignait m'appeler aux fonctions illustrées par Cuvier, et dont l'éclat s'est perpétué sous la longue possession de M. Flourens, elle m'imposait le devoir de préparer, pour une séance publique prochaine, l'éloge de l'un des membres qu'elle a perdus. J'aurais voulu prononcer celui de mon éminent prédécesseur; mais le délai était trop court, et son souvenir, d'ailleurs, n'est pas de ceux qui s'affaiblissent; ses travaux ne redoutent pas l'épreuve du temps.

M. Flourens était entré à l'Académie des sciences, il y a quarante années; il y remplaçait Bosc. Cinq ans après,

il succédait comme secrétaire perpétuel à Dulong, qui, ayant recueilli pour quelques mois l'héritage de Cuvier, était forcé par sa santé chancelante de l'abandonner à d'autres mains.

La lecture de l'ouvrage de M. Flourens sur les fonctions du cerveau, le mémorable rapport dont il fut l'objet de la part de Cuvier, avaient été comme un événement. Personne ne s'étonna donc de l'empressement avec lequel notre compagnie, forçant l'entrée de la section d'agriculture, y fit entrer un physiologiste, célèbre déjà, pour s'assurer sa coopération.

Au fauteuil de secrétaire perpétuel, qu'il a gardé pendant un tiers de siècle, M. Flourens a témoigné d'un zèle ardent pour les intérêts de l'Académie, d'un sentiment jaloux de la dignité des sciences et d'une préoccupation délicate des droits de ceux qui les cultivent.

Ayant à prononcer les éloges de Cuvier, de Geoffroy-Saint-Hilaire, de Blainville, de Magendie, de Jussieu et de De Candolle, M. Flourens ne pouvait échapper au désir d'écrire l'histoire contemporaine de la science de l'organisation. Il a tracé, en effet, le tableau vrai du mouvement des idées au début de ce siècle, relativement au problème de la vie.

Faire la part de M. Flourens dans ces analyses fines, caractériser l'influence qu'il a exercée lui-même, c'est une œuvre qui réclame une longue étude. L'Académie veut que ceux qui l'ont honorée soient loués dignement; elle me pardonnera d'avoir ajourné ce devoir, et elle comprendra cependant que mon respect pour la mémoire de mon éminent prédécesseur m'obligeait à consacrer mes premières paroles à l'expression de nos regrets pour sa personne et de notre souvenir pour ses travaux.

S'il est toujours difficile de parler au nom de l'Académie, comment aborder sans trouble cette tribune accoutumée aux succès de la parole, lorsqu'on est obligé de l'aborder presque sans préparation?

Mais, en retraçant devant vous la vie de Faraday, du savant le plus accompli que l'Académie ait possédé, de l'homme excellent qui faisait la gloire de l'Angleterre, et qui en France ne comptait que des amis, il me semble que l'affection dont il m'honorait me protége.

Michel Faraday, l'un des huit associés étrangers de l'Académie des sciences, avait succédé en cette qualité à son illustre compatriote Dalton, le créateur de la théorie atomique moderne. Il avait mérité cet honneur, le plus grand dont notre compagnie dispose, par des travaux et des découvertes qui ont rendu son nom populaire dans les deux mondes et qui lui assurent pour toujours une place parmi les grands inventeurs. Comme Dalton, Faraday avait eu des commencements modestes; sa vie n'avait, de même, connu d'autres devoirs que ceux qui se lient au culte de la science, et comme Dalton enfin, ses dernières années, condamnées au repos par les infirmités, furent honorées des témoignages du noble intérêt de la Reine, interprète de la reconnaissance de l'Angleterre pour la plus pure de ses gloires scientifiques.

Je ne sais s'il existe au monde un savant qui ne fût heureux de laisser en mourant des travaux pareils à ceux dont Faraday a fait jouir ses contemporains et qu'il a légués à la postérité; mais je suis sûr que tous ceux qui l'ont connu voudraient approcher de cette perfection morale qu'il atteignait sans effort. Elle semblait chez lui comme une grâce na-

turelle, qui en faisait un professeur plein de feu pour la diffusion de la vérité, un artiste infatigable, plein d'entrain et de gaieté dans son laboratoire, le meilleur et le plus doux des hommes au sein de sa famille, et le prédicateur le mieux inspiré au milieu de l'humble troupeau religieux dont il suivait la foi.

La simplicité de son cœur, sa candeur, son amour ardent de la vérité, sa franche sympathie pour tous les succès, son admiration naïve pour les découvertes d'autrui, sa modestie naturelle, dès qu'il s'agissait des siennes, son âme noble, indépendante et fière, tout cet ensemble donnait un charme incomparable à la physionomie de l'illustre physicien.

Nous nous étions rencontrés dans notre jeunesse, à une époque où l'un et l'autre nous en étions à nos débuts. Nous nous sommes retrouvés souvent, lorsque ses brillantes découvertes excitaient la curiosité universelle, et pourtant, dans le laboratoire intime, quand il reproduisait pour moi la suite de ses expériences fondamentales, je me surprenais à oublier la science pour observer le savant, distrait des merveilles qu'il dévoilait dans la nature physique, par le désir de surprendre le secret de cette perfection morale qui se manifestait dans tous les mouvements de son âme.

Je n'ai pas connu d'homme plus digne d'être aimé, d'être admiré, d'être regretté. Je voudrais conserver sa physionomie à cette existence si calme ; en tracer un tableau coloré serait la dénaturer. Il n'y eut pas de drame dans la vie de Faraday ; elle doit être présentée sous cet aspect simple qui en fait la grandeur. Il y a plus d'une leçon utile à recevoir, cependant, de l'étude sincère de cet homme illustre dont la jeunesse traversa la pauvreté avec dignité, dont l'âge mûr

supporta la gloire avec modération, et de qui les dernières années s'éteignaient doucement naguère, au milieu des respects et des plus tendres affections.

La fidélité à la foi religieuse et la constante observation de la loi morale constituent les traits dominants de sa vie. Sans doute, sa ferme croyance en cette justice d'en haut qui pèse tous nos mérites et en cette bonté souveraine qui pèse toutes nos souffrances, n'a pas inspiré à Faraday ses grandes découvertes, mais elle lui a donné la droiture, le respect de soi-même, la force contre ses propres entraînements et l'esprit de justice, qui lui ont permis de lutter avec confiance contre la mauvaise fortune et d'accepter la prospérité sans en être enivré.

Michel Faraday était né le 22 septembre 1791, à Newington-Butts, près de Londres.

L'humble condition de ses parents, aggravée par l'état maladif de son père, ne lui promettait qu'une existence précaire. Faraday, qui mérite d'être offert comme modèle à tout jeune homme obligé de vivre du travail de ses mains, n'a rien dû qu'à lui-même, à son courage, à sa persévérance, à son génie. Dans cette aristocratique Angleterre, où le sort l'avait fait naître, parti de la condition la plus déshéritée, il s'est placé, par l'éclat du talent, au niveau des puissants de la terre et des fortunes les plus hautes. La fierté du savant n'en a jamais souffert ; à l'exemple du Prince Albert, ceux vers lesquels l'élevait la destinée savaient descendre avec grâce, lorsqu'il lui déplaisait de monter, et la rencontre s'opérait de la sorte sur le terrain neutre et libre de la science, où il ne connaissait pas de supérieurs.

Dès l'âge de treize ans, n'ayant pour tout bagage littéraire

que l'instruction reçue dans une école élémentaire : la lecture, l'écriture et un peu d'arithmétique, Faraday entrait comme apprenti libraire et relieur dans une boutique de Blandford street. Comment le goût des sciences s'est-il développé dans l'esprit de cet enfant condamné aux soins matériels d'un apprentissage assujettissant? Deux circonstances dignes d'être signalées en furent l'occasion : la lecture des ouvrages de Mme Marcet; l'impression produite par quelques leçons de Davy.

Mariée avec un médecin éminent, chimiste habile, Mme Marcet, douée elle-même d'un rare mérite, rehaussé par la plus aimable distinction, avait écrit, sous le titre de : *Conversations sur la chimie,* un petit traité populaire, justifiant sinon par son éclat extérieur, du moins par son langage simple et naturel, l'insigne honneur qui lui a été accordé d'ouvrir au jeune Faraday la route de la science et de lui inspirer l'amour profond de la vérité; genre de succès qu'on souhaite, sans l'espérer, à ces traités modernes plus brillants qui n'ont quelquefois de populaire que le nom.

Faraday ne se montra point ingrat; il attribua toujours son goût pour les connaissances chimiques au soin qu'il avait mis à constater, par de petites expériences, chacune des assertions du livre de celle qu'il nommait avec bonne humeur sa première institutrice, et quand les relations du monde les rapprochèrent, loin de rougir de son humble enfance, ses pensées se reportant en arrière, il aimait, disait-il, à contempler en elle le présent et le passé.

Près de huit années s'étaient écoulées, dans cette situation à laquelle aucune issue ne semblait s'ouvrir, lorsque le jeune apprenti eut l'heureuse fortune d'être admis, par la recom-

mandation de l'un des membres de l'Institution royale, à entendre les dernières leçons du cours que Davy professait dans ce célèbre établissement. Il en fit une rédaction attentive, et il l'envoya à Davy, en le priant de l'aider à quitter le commerce, qu'il détestait, et à se vouer à la chimie qu'il aimait. L'illustre chimiste lui répondit de suite; quelques semaines après, il le fit nommer aide-préparateur, sans le soumettre à l'épreuve que lui conseillait Pepys, l'un des fondateurs de l'Institution royale et savant distingué. Que faire de ce jeune homme, disait Davy, en lui montrant la lettre de Faraday; qu'en faire? le mettre à laver les capsules et les verres: s'il est bon à quelque chose, il le fera avec empressement; s'il refuse, c'est qu'il n'est bon à rien. Conseil tout anglais, fruit d'une grande pratique: je ne chercherais pas loin mes exemples et je n'aurais qu'à me souvenir, s'il fallait prouver qu'on arrive plutôt à l'Académie des sciences, en débutant au laboratoire par y laver les verres, qu'en y débutant avec prétention, comme un génie qui dédaignerait le matériel des expériences.

Davy n'imposa pas à Faraday ce noviciat; seulement, comme le naïf apprenti relieur confessait avoir peu de goût pour son métier et s'excusait d'avoir l'ambition de s'enrôler sous le drapeau de la science, qui rend, disait-il, si aimable et si généreux tous ceux qui le suivent, il lui répondait: « Ne renoncez pas trop vite au commerce; la science est une maîtresse exigeante, rude et peu généreuse; » quant à l'idée que son jeune interlocuteur se formait de la supériorité morale des savants, elle le fit sourire, ajoutant qu'il laissait à l'expérience de quelques années le soin de l'éclairer. Hélas! sur ce point, ce fut Davy, lui-même, qui ne laissa rien à faire aux autres pour l'éducation de Faraday.

Je n'ai pas l'intention de retracer ici l'histoire complète des travaux de notre illustre associé. Au début de sa carrière, on rencontre de simples études; plus tard, au milieu de grandes pages, on retrouve des esquisses. *Travailler*, *achever*, *publier:* telle était sa règle invariable et sa devise. Publier tout ce que l'on considère comme nouveau et vrai, c'est, en effet, le devoir du savant; mettre en lumière les conceptions qui caractérisent la méthode ou l'influence d'un grand inventeur, c'est le seul devoir de l'historien.

Faraday avait une méthode, et elle peut être recommandée avec confiance. Sa foi dans les hautes destinées de l'homme et la conviction qu'il lui est prescrit de s'approcher sans cesse de la lumière donnait aux recherches scientifiques dont il s'occupait le caractère d'une mission sacrée. Il considérait l'expérience comme le moyen le plus sûr de découvrir ou d'affirmer des vérités; et, si j'empruntais le langage de la métaphysique, je dirais que personne n'a porté plus loin cet art de se servir du concret pour arriver à l'abstrait et de soumettre l'abstrait au contrôle du concret.

Une expérience presque insignifiante à l'origine finissait, de proche en proche, par l'élever aux plus hautes contemplations de la nature. On trouve un exemple saisissant de son procédé dans ses recherches sur la liquéfaction des gaz, son premier travail d'ensemble.

Lavoisier, cherchant quelles conditions peuvent accroître ou réduire la masse de l'atmosphère, suppose la terre transportée plus près du soleil, dans les chaudes régions où se trouve Mercure, par exemple, et fait voir que, dans cette situation, l'eau se convertirait tout entière en vapeurs, ainsi

que d'autres corps, et que l'air s'en trouverait augmenté. La terre serait-elle portée, au contraire, dans des régions très-froides, l'eau qui forme aujourd'hui nos fleuves et nos mers, et les liquides que nous connaissons, se transformeraient en montagnes ou rochers très-durs.

L'air, ajoute-t-il, ou quelques-unes de ses parties cesseraient alors d'exister dans l'état de vapeurs élastiques, faute d'un degré de chaleur suffisant, « et il en résulterait de nouveaux liquides dont nous n'avons aucune idée ».

Il appartenait à Faraday de réaliser par les expériences les plus brillantes ces dernières suppositions de Lavoisier, et de convertir presque tous les gaz connus en liquides, dont les propriétés extraordinaires avaient échappé, en effet, à toutes les prévisions.

Le chlore se dissout dans l'eau. A quelques degrés au-dessus de zéro, la liqueur se congèle, et il s'en sépare une neige jaunâtre contenant à peu près en poids un quart de chlore et trois quarts d'eau. Voilà l'humble point de départ de ses belles découvertes.

Faraday prend cette matière, en remplit un tube de verre, le ferme hermétiquement, et le plonge dans de l'eau tiède. Le composé neigeux, formé d'eau et de chlore, se fluidifie, et les deux corps qui le constituaient se séparent. L'eau reprend sa forme liquide ordinaire. Mais le chlore, devenu libre, ne trouvant pas le large espace dont il aurait besoin pour se convertir en gaz, comprimé par sa propre vapeur, se change pour la plus grande partie en un liquide jaune pâle, très-mobile.

Faraday ne tardait pas à réaliser la liquéfaction d'un grand nombre de gaz par ce procédé si simple. Il renfermait dans

des tubes de verre, de faible capacité, les substances solides ou liquides capables de fournir un grand volume de gaz. Il les forçait à réagir dans cet espace étroit, et le gaz se liquéfiait en se produisant. Mais chacun comprendra sans peine que ces tubes composaient une artillerie toujours prête à gronder, et que, pour reconnaître les propriétés de ces dangereux liquides, mesurer la pression de leur vapeur à diverses températures, déterminer leur densité, les étudier, en un mot, dans tous leurs détails, il fallait une rare dextérité. Faraday était à la fois hardi et prudent; il eut à subir beaucoup d'explosions dans cette longue et difficile investigation; il n'eut à regretter aucun accident, ni pour lui-même ni pour les autres, en vrai chimiste, qui n'a peur de rien et qui se défie de tout.

Plus tard, il complétait ces études, en associant le refroidissement à la pression. Les expériences de Thilorier sur l'acide carbonique, celles de notre savant confrère M. Bussy sur l'acide sulfureux, celles que j'ai moi-même effectuées sur le protoxyde d'azote, celles de M. Carré sur l'ammoniaque et son application à la fabrication domestique de la glace, ajoutant quelques traits au tableau tracé par Faraday, ont permis d'en manifester, sous une forme plus saisissante et plus populaire, les conséquences inattendues que Lavoisier, parmi les anciens, semble seul avoir entrevues.

En effet, tous ces gaz liquéfiés par la pression, par le froid ou par l'action combinée de ces deux moyens, constituent des liquides d'une mobilité et d'une fluidité extraordinaires, à côté desquels l'eau semble sirupeuse, l'alcool ou l'éther lui-même des liqueurs visqueuses, lentes à reprendre leur niveau.

Chauffés dans des espaces fermés, ces liquides se changent

en gaz aussi denses que les liquides d'où ils proviennent. Chauffés dans des espaces plus libres, ils se dilatent autant ou même plus que les gaz, jusque-là les plus dilatables des corps.

Mais ces gaz liquéfiés par des compressions égales à trente ou quarante fois celles de notre atmosphère, capables de briser les vases de métal qui les renferment, même les plus résistants, ne devaient-ils pas produire tous d'épouvantables explosions, dès qu'ils seraient soustraits à la pression sous laquelle ils avaient pris naissance? Comment ne pas s'y attendre? L'expérience était, elle-même, nécessaire à tenter?

Le protoxyde d'azote liquide, qu'on n'a manié d'abord qu'avec une circonspection extrême, peut être versé, cependant, comme de l'eau à l'air libre, d'un vase dans un autre, bien loin d'être détonant. L'observateur a le loisir, pendant des heures entières, d'en étudier les propriétés, sous cette forme liquide.

Versé dans un verre de vin de Champagne, il en offre l'aspect, mais avec des circonstances étranges. Si l'on y fait couler du mercure, celui-ci non-seulement se gèle à l'instant, mais il y prend la consistance, la blancheur et la ténacité de l'argent en barre. Un charbon allumé, jeté sur le liquide, y brûle, au contraire, avec le plus vif éclat. A la distance de l'épaisseur du doigt, dans le même vase, on trouve donc réunies des températures tellement basses qu'aux abords des régions polaires on ne les a jamais observées, et des températures tellement élevées que le feu de forge le plus ardent ne les réalise pas.

L'acide carbonique, à son tour, se liquéfie facilement et produit un liquide incolore, qu'il convient de former ou de

conserver dans des vases d'une solidité à toute épreuve, car la tension de la vapeur qui les presse peut les faire éclater comme un obus, tuant et détruisant tout dans leur voisinage.

Cependant on convertit, à volonté, ce liquide en un solide transparent comme la glace, ou en une masse blanche et légère comme la neige. Sous cette dernière forme, on conserve, à l'air, l'acide carbonique solide, aussi facilement que la neige ordinaire : de telle sorte que l'acide carbonique, ce gaz permanent, ce liquide aussi redoutable, à la température ordinaire, dans les vases qui le recèlent, que l'eau chauffée à 2 ou 300 degrés, dans une chaudière, devient, sous sa forme solide, le plus pacifique des corps. Une boule de neige carbonique, enveloppée d'un linge, serait portée d'une extrémité de Paris à l'autre, sans plus de soin que la boule de neige aqueuse, à laquelle elle ressemble.

Les expériences de Faraday confirment donc les vues de Lavoisier sur les caractères imprévus qu'offrent les liquides produits par les gaz refroidis. Elles confirment aussi l'antique classification de la matière : terre, eau, air et feu, qui en représentait les quatre qualités : solide, liquide, gaz et chaleur. Car Faraday a forcé tous les gaz connus à changer d'état, six exceptés. Ce sont les moins solubles dans l'eau : l'hydrogène, l'azote et l'oxygène; l'hydrogène proto-carboné, le bioxyde d'azote et l'oxyde de carbone. Ces six gaz, en outre, entrent, par eux-mêmes ou par leurs éléments, directement ou indirectement, dans la trame solide des tissus organisés, et dans les liquides qu'ils emprisonnent; comme si le procédé de la vie, cherchant l'obstacle, aimait à s'exercer sur des produits particulièrement rebelles à l'assimilation.

L'air est donc formé de deux des éléments qui ont résisté à la liquéfaction et à la solidification : l'oxygène et l'azote. Or, si les deux éléments de l'air étaient liquéfiables, ils seraient solubles, et l'eau des mers aurait dissous presque tout l'air qu'exige notre propre respiration. La vie des habitants de l'onde y aurait gagné, peut-être, mais celle des êtres qui peuplent la surface de la terre en serait devenue impossible. Mais rassurons-nous, l'air a été soumis par Faraday à la pression de cinquante atmosphères, c'est-à-dire à celle d'une colonne d'eau six ou sept fois égale à la hauteur du Panthéon, en même temps qu'il était refroidi à 110 degrés au-dessous de zéro; d'autres expérimentateurs ont doublé cette pression : jusqu'ici, personne n'a vu l'air liquéfié.

En liquéfiant ou en solidifiant les gaz, Faraday a mis à la disposition des observateurs les agents propres à réaliser des températures excessivement basses. L'acide carbonique neigeux, mouillé d'éther, forme un bain à 88 degrés au-dessous de zéro. Le protoxyde d'azote liquide se maintient à une température constante de 90 degrés au-dessous de zéro. Lorsqu'on active l'évaporation de ces substances, en les plaçant dans le vide, on obtient même un abaissement de température, qui peut atteindre 100 ou 110 degrés au-dessous de la glace fondante.

Ces liquides ou ces solides, ainsi refroidis, cautérisent la peau comme un fer brûlant. Un métal froid qu'on y plonge produit le cri du fer rouge qu'on trempe dans l'eau. Une affusion d'eau froide les transforme, tout à coup, en gaz, tandis que l'eau se gèle elle-même avec une vive explosion.

L'imagination du Dante ne s'est pas élevée au niveau de la réalité, et le grand poëte de l'Italie aurait trouvé, comme on

voit, près de nos laboratoires plus d'un trait digne de prendre place dans la description du neuvième cercle de l'enfer, à côté de l'épisode d'Ugolin, et d'ajouter à son horreur. Il est vrai que pour un Florentin, accoutumé au plus doux climat, le séjour éternel dans un bain de glace ordinaire a pu paraître suffisant pour caractériser la plus dure des peines infligées aux réprouvés.

Au premier abord, ce résultat secondaire de la liquéfaction des gaz semblerait d'un mince intérêt. Pourtant il devient de grande conséquence, lorsqu'on réfléchit combien sont restreintes nos ressources pour réaliser de basses températures. S'agit-il de chauffer les corps, nous avons divers moyens d'atteindre 2,000 degrés au moins, c'est-à-dire de parcourir vingt fois le chemin qui sépare la glace fondante de l'eau bouillante. S'agit-il de les refroidir, nous ne dépassions pas naguère 50 degrés au-dessous de zéro; c'est Faraday qui nous a donné le moyen de descendre un peu plus et d'aller au-delà de 100 degrés.

Qu'arriverait-il si nous pouvions atteindre 2,000 degrés au-dessous de zéro? Nous ne le savons pas. Remarquons seulement que, si en comprimant un gaz on le liquéfie, les pressions les plus extrêmes ne font guère passer un corps de l'état liquide à l'état solide, comme s'il appartenait surtout au froid de solidifier les corps et d'immobiliser, en apparence au moins, leurs molécules, si agitées dans les gaz, si mobiles dans les liquides. Nous avons donc encore beaucoup à apprendre sur les effets du froid, et découvrir une source intense de froid serait aussi profitable pour la science qu'il l'a été pour elle de posséder une source violente de chaleur.

Au commencement du siècle, on croyait au froid absolu.

On n'hésitait pas à dire que, si les corps pouvaient être refroidis jusqu'à 267° au-dessous de la glace fondante, passé ce terme, ils ne perdraient plus de chaleur.

Comme la chaleur est un mouvement, tout mouvement cesserait donc à 267°. Aucun des phénomènes actuels ne peut nous donner une idée de ce que deviendrait la matière, si elle cessait d'être soumise à l'action de la chaleur, qui en agite les dernières particules. Nous apprécions l'existence de la chaleur, sans matière, dans le vide parfait. La matière, sans chaleur, nous est inconnue. Rien ne prouve que le zéro absolu existe et surtout que nous en ayons autant approché, et les géomètres, quand ils en supposent l'existence pour un gaz parfait et pour un état limité, savent du moins qu'ils font une hypothèse, et n'envisagent plus cette expression comme une réalité physique certaine.

Enfin, on croyait que les gaz liquéfiés offriraient, en les exagérant, les propriétés chimiques qui les distinguent à l'état ordinaire; les particules qui les constituent, après s'être rapprochées, devaient montrer une grande exaltation dans leurs affinités. Il n'en est rien. Les substances les plus inflammables, telles que le sodium, subissent sans brûler le contact des liquides les plus comburants, tels que le protoxyde d'azote. L'antimoine, métal qui prend feu vivement dans le chlore gazeux, reste intact et brillant dans le chlore liquéfié, avec lequel il ne se combine plus. On serait tenté de dire : C'est absurde ; mais, c'est vrai!

C'est ainsi que les découvertes de la science apprennent la circonspection, et c'est ainsi que ceux dont l'expérience est la plus étendue sont ceux qui savent le mieux dire avec sincérité et simplicité : Je ne sais pas. Faraday, qui professait

que tout est possible, ne craignait pas, du reste, de soumettre à l'épreuve l'absurde lui-même. Seulement, il savait voir ce qui s'était passé, et savoir voir est le premier secret des grands chimistes.

Lorsque Faraday tentait, il y a quarante-cinq ans, l'épreuve qui amena la liquéfaction du chlore et qui devint l'occasion d'études et de découvertes de l'ordre le plus élevé, il en était à ses débuts. Davy jouissait de tous les honneurs. Personne ne comprit donc que l'illustre président de la Société royale de Londres crût nécessaire au soin de sa gloire de constater, dans une note expresse, qu'il avait conseillé lui-même, à son assistant, de soumettre à cet essai le composé de chlore et d'eau. Sans grandir le maître, qui ne pouvait plus monter, cette note semblait écrite pour amoindrir le disciple et pour le décourager.

Je n'apprends rien à mes contemporains si j'ajoute qu'après l'avoir accueilli dans le laboratoire de l'Institution royale, Davy reconnut trop tard le génie du jeune Faraday. Il n'eut pas pour lui les égards que tout homme voué au culte de la science doit accorder si volontiers à celui qui s'y distingue. Il se souvint trop que, dans les colléges anglais, les élèves jeunes, esclaves des anciens, leur doivent la plus dure obéissance et le service domestique. Reste de barbarie, qui ne trouve pas même son excuse dans le régime d'égalité, qui plie aux mêmes assujettissements les aînés des familles les plus puissantes et les cadets du pauvre gentilhomme.

Mais, voyageant sur le continent, pendant la guerre, admis à parcourir, par une faveur unique et spéciale de Napoléon Ier, la France et l'Italie, Davy, objet de l'attention et de la curiosité générales, fut jugé plus sévèrement qu'à Londres.

Son aide de laboratoire, longtemps avant d'avoir conquis sa grande célébrité par ses travaux, s'était fait par sa modestie, sa douceur et son intelligence, les amis les plus dévoués à Paris, à Genève, à Montpellier. Parmi eux, il faut citer au premier rang M. de la Rive, chimiste distingué, père du physicien illustre que nous comptons parmi nos associés étrangers. Les bontés dont il entoura ma propre jeunesse n'ont pas peu contribué à nous unir, Faraday et moi. Il nous plaisait de nous rappeler que nous nous étions connus sous les auspices de ce savant affectueux et serviable, dont l'exemple disait si bien que ce n'est pas la science qui dessèche le cœur. A Montpellier, au foyer hospitalier de Bérard, l'associé de Chaptal, père du doyen de nos correspondants, Faraday a laissé des souvenirs également pleins d'une sympathie toujours vivante, que son maître n'avait pas su s'y concilier. On admirait Davy, on aimait Faraday.

Faraday n'oublia jamais ce qu'il devait à Davy. Me trouvant chez lui, au déjeuner de famille, vingt ans après la mort de ce dernier, il remarqua sans doute que je répondais froidement à quelques éloges que le souvenir des grandes découvertes de Davy venait de provoquer de sa part. Il n'insista point. Mais, après le repas, il me fit descendre sans affectation à la bibliothèque de l'Institution royale, et, m'arrêtant devant le portrait de Davy : « C'était un grand homme, n'est-ce pas ? » me dit-il, et, se retournant, il ajouta : « C'est là qu'il m'a parlé pour la première fois. » Je m'incline, nous descendons au laboratoire, Faraday prend un registre, l'ouvre et désigne du doigt les mots inscrits par Davy, au moment précis où, sous l'influence de la pile, il venait de décomposer la

potasse et de voir apparaître le premier globule de potassium que la main de l'homme ait isolé. Autour des signes techniques qui formulent sa découverte, Davy a tracé d'une main fiévreuse un cercle qui les détache du reste de la page; les mots *capital experiment*, qu'il a écrits au-dessous, ne peuvent être lus sans émotion par aucun vrai chimiste. Je m'avouai vaincu, et je me mis pour cette fois, sans plus hésiter, à l'unisson de l'admiration de mon excellent ami.

Faraday, comme on le voit, se souvenait des leçons de Davy; il gardait la mémoire de ses grandes découvertes; il lui pardonnait son orgueil.

Nous ne sommes pas tenus à la même vertu. A Davy, convaincu que la science ne suffisait pas pour rapprocher les distances, j'aime à opposer Cuvier, grand comme lui par son génie, ennobli comme lui par son prince, et entouré par l'universel respect de tous les prestiges.

Cuvier traitait tous les savants comme des égaux; il voulait être traité par eux de la même manière. Je le vois encore, discutant avec un jeune naturaliste un point d'anatomie, et soutenant son avis sans prétention, tandis que son interlocuteur, à chaque phrase, répétait : Monsieur le baron, Monsieur le baron! — Il n'y a pas de baron ici, lui dit doucement Cuvier, il y a deux savants cherchant la vérité et ne s'inclinant que devant elle.

Qu'un apprenti qui a souffert devienne un maître exigeant et dur, ce n'est pas chose rare. Faraday avait le cœur trop noble pour prendre, dans les jours de sa prospérité, cette revanche contre les premières rigueurs de la vie.

Il avait un assistant aussi, Anderson, le fidèle Anderson, tellement identifié avec son maître qu'on aurait dit deux

hommes mus par une seule volonté, agissant d'accord sans s'être concertés et n'ayant plus besoin de parler pour se comprendre. Pour Anderson, ébloui de ses découvertes et reconnaissant de sa cordialité, Faraday n'était plus un homme, n'était plus un professeur : c'était Faraday, l'astre de l'Angleterre, dont il était heureux et fier de rester toujours l'humble satellite. Quel heureux don que la bonté!

Faraday avait donné sa mesure par ses belles et difficiles recherches sur la liquéfaction des gaz; bientôt il fut entraîné dans le mouvement qui se produisait vers l'étude de l'électricité, par suite de la célèbre découverte d'OErstedt et des grands travaux d'Ampère.

Ce moment est plein d'intérêt pour l'histoire de la science; il fait époque dans les souvenirs des anciens membres de cette Académie; car il marque la fin d'une grande école et l'apparition d'une ère nouvelle. Le succès avec lequel les phénomènes célestes avaient été soumis au calcul avait fait illusion; les géomètres avaient cru pouvoir saisir avec la même autorité et faire rentrer dans leur domaine la physique tout entière, en attendant que la chimie et les sciences naturelles eussent leur tour. La chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, considérés comme autant de matières impondérables distinctes; les propriétés des corps pesants, tout était rangé sous des lois énoncées avec une autorité mathématique si ferme, qu'on se sentait découragé de rien entreprendre, comme si la science eût prononcé son dernier mot. Ce but qu'ils croyaient avoir touché s'est éloigné, cependant, à mesure que nous avancions; aujourd'hui nous ne l'apercevons même plus, et tout le monde convient que l'expérience

sera, longtemps encore, le guide le plus sûr et la méthode la plus féconde.

Les découvertes d'Oerstedt et d'Ampère, montrant que le magnétisme et l'électricité se transforment l'un en l'autre, comme deux modifications d'un même mode de mouvement; celles de Fresnel, établissant que la lumière est un mouvement aussi, et non une émission matérielle, comme le pensait Newton et comme le professaient ses interprètes, furent au sein de notre Académie l'occasion de débats qui émurent l'Europe. Faraday prit parti pour la nouvelle école, et il en est devenu l'un des plus brillants fondateurs par ses admirables travaux.

Pour les faire connaître, il faudrait écrire un traité complet d'électricité. Il n'est pas un seul point de cette branche de la science que Faraday n'ait sondé, perfectionné ou transformé. Il en est beaucoup qu'il a créés et qui lui appartiennent sans contestation.

Je ne puis donc le suivre dans cette immense suite de recherches auxquelles il a consacré vingt-cinq années d'un travail assidu. Je choisis parmi ses découvertes, et, sans m'astreindre à l'ordre chronologique, je les consigne ici dans l'ordre naturel.

Vers 1789, Galvani, professeur de physique à Bologne, poursuivant, comme on sait, des expériences relatives à l'action de l'électricité sur les animaux, disposait pour ces essais des cuisses de grenouilles suspendues à un crochet de cuivre, qui fut employé fortuitement à les suspendre à un balcon de fer. Le contact du fer et du cuivre déterminait des convulsions vives et répétées dans les membres de la grenouille, qu'on voyait rebondir dès que leur poids les ramenait au contact du fer. Galvani reconnut que les

convulsions se produisent toujours, lorsqu'on établit une communication métallique entre les nerfs et les muscles de la grenouille.

Volta, s'emparant vivement du sujet, fit voir qu'autant les convulsions sont incertaines, peu intenses et fugitives, lorsqu'on emploie un seul métal pour mettre les nerfs et les muscles en rapport, autant elles sont promptes, vives et persistantes lorsque l'arc métallique est formé de deux métaux différents.

Galvani considéra ces phénomènes comme étant dus à une électricité animale dont les muscles et les nerfs étaient le siége, et à laquelle l'arc métallique livrait passage. Volta les attribua, de son côté, à une électricité physique qui prenait naissance au contact de deux métaux différents, quels qu'ils fussent. L'Europe savante fut longtemps indécise.

Le temps a démontré qu'ils avaient tous deux raison; les muscles produisent, jusqu'à extinction complète de leur excitabilité, une quantité d'électricité dont l'appréciation et la mesure ne sont plus l'objet d'un doute. D'autre part, deux métaux plongés, par un bout, dans une eau acide ou saline et mis en contact par leurs surfaces libres excitent un mouvement électrique considérable.

Tout le monde sait que la pile de Volta, découverte sur ces entrefaites, fut d'abord formée de disques de cuivre, de zinc et de drap mouillé, rangés dans cet ordre en grand nombre, comme une colonne ou pile de monnaie, et que les deux électricités de nom contraire s'observent, condensées aux deux bouts ou pôles de la pile. Qu'on ait augmenté tantôt la surface, tantôt le nombre des plaques de métal, et qu'on se soit servi de liqueurs acides ou salines plus excitatrices que

l'eau, peu importe. Mais, réunit-on les deux pôles de la pile avec un fil métallique, celui-ci s'échauffe, rougit, brûle ou fond; il attire la limaille de fer et dévie la boussole, se comportant à la fois comme un émissaire de chaleur et de magnétisme. Si l'on coupe le fil de métal et qu'on en rapproche les extrémités sans les joindre, un composé, placé dans l'intervalle libre, est presque toujours ramené à ses éléments, et tout être vivant, mis en communication avec eux, est frappé de convulsions.

Il est intéressant de se reporter aux souvenirs d'une époque où les professeurs de physique exposaient, à leur auditoire étonné, la théorie mystérieuse de la pile voltaïque; le simple contact de deux métaux, qui ne perdaient ni ne gagnaient rien, disaient-ils, faisait néanmoins sortir de cet appareil magique des effluves capables de rivaliser avec l'éclat du soleil, pour la lumière; avec les combustibles les plus énergiques, pour la chaleur; avec les affinités les plus puissantes, pour les décompositions chimiques; propres même à faire reparaître, pour quelques instants, le mécanisme de la vie dans un cadavre inanimé.

Toutes ces énergies seraient nées de rien! Mais l'homme aurait donc tiré du néant la lumière, la chaleur, le magnétisme, la puissance mécanique, les forces chimiques et, sinon la vie elle-même, du moins une image assez fidèle de la vie, pour autoriser les rêves les plus audacieux. Dans les confidences du laboratoire, dans ces causeries intimes, où de tout temps les illusions ont trouvé place à côté des vérités, les uns se demandaient, alors, si l'homme n'était pas armé d'un instrument qui allait lui assurer une jeunesse éternelle; les autres, s'il n'avait pas retrouvé ce feu du ciel, au moyen

duquel l'argile allait s'animer sous la main d'un Prométhée nouveau.

Une science vraie a soufflé sur les bulles de savon de cette science fausse, et elles se sont dissipées. Un de nos plus éminents confrères, M. Becquerel l'ancien, qui semblerait avoir trouvé, au moins pour lui-même, dans l'étude persévérante de l'électricité, le secret de garder à l'abri des atteintes de l'âge la santé du corps et la vigueur de l'esprit, a frappé les premiers coups sérieux sur cette théorie mystique du contact. Il appartenait à Faraday de lui porter les derniers.

Au moyen d'une suite d'expériences dirigées avec une profonde connaissance des règles de la chimie la plus sûre, Faraday a mis au rang des vérités les mieux démontrées les principes suivants :

Toute action chimique est accompagnée d'un dégagement d'électricité ; le courant électrique naît dès que l'action chimique commence, et il cesse dès qu'elle s'achève ; il s'affaiblit ou s'exalte, selon qu'elle augmente ou qu'elle diminue ; sa direction change, si le sens de l'action chimique est lui-même renversé.

Enfin, le seul contact de deux métaux, quels qu'ils soient, ne développe jamais d'électricité en quantité suffisante, pour en faire une source utile, si tant est qu'il en produise quelques traces, comme le pensent certains physiciens, qui, du reste, ne veulent plus qu'elle y naisse de rien, tant faible soit-elle.

Si la source de la force de la machine à vapeur est dans la houille que son foyer brûle, la source de la force de la pile de Volta provient donc du zinc que brûlent les acides dans chacun de ses couples.

L'expérience primitive de Galvani s'explique, à son tour, lorsque l'on reconnaît que la source de la force qui agite les membres de la grenouille réside dans les matières combustibles contenues dans leurs muscles et qui y sont brûlées par l'oxygène de leur sang.

Il n'y a donc ni électricité de contact vraiment pratique, ni électricité animale ; les deux faits découverts et analysés par les savants italiens étaient des cas particuliers d'une loi générale : Toute combustion ou plutôt toute action chimique, qu'elle s'opère dans les corps bruts ou dans les organes d'un être vivant, développe de l'électricité.

Non-seulement Faraday a reconnu et mis en évidence l'origine certaine de la force électro-motrice de la pile, mais il a découvert la loi suivant laquelle s'opèrent les décompositions chimiques qu'elle produit.

Personne n'ignore qu'il existe des procédés au moyen desquels M. Jacobi est parvenu à forcer le cuivre dissous dans les acides à reprendre sa nature métallique, à se déposer dans des moules, à y revêtir les formes délicates et correctes de la statuaire et de l'ornementation. Personne n'ignore que MM. Elkington et de Ruolz ont créé une industrie nouvelle, en dirigeant sur des objets en cuivre, en laiton, en bronze ou autres alliages vulgaires, des métaux précieux, tels que l'or et l'argent, qui s'y appliquent étroitement, les enveloppent et les protégent contre les altérations extérieures.

C'est la pile de Volta qui opère ces miracles de l'industrie moderne. Avec elle, dans l'art de mouler les métaux, les

dissolvants aqueux jouent le rôle qui appartenait jadis à la fusion ignée ; Neptune a détrôné Vulcain.

Mais combien faut-il dépenser d'électricité pour forcer le dépôt d'un kilogramme de cuivre dans la galvanoplastie, d'un kilogramme d'or ou d'argent dans la dorure ou l'argenture électriques ? Comment apprécier, comment peser cette électricité ?

D'une manière absolue, il n'y faut pas songer. L'homme ne connaît que des rapports ; il ne lui est permis de rien affirmer d'une manière absolue, dès qu'il s'agit de la science de la nature.

Toute mesure s'effectue par comparaison : un corps pesant, par son équilibre avec un autre corps pesant ; un corps chaud ou froid est comparé à l'eau qui bout, à la glace qui fond, au mercure qui gèle ; la force, à une résistance ; le temps se mesure à la marche ou au retour des astres.

La quantité d'électricité nécessaire pour dégager un corps des liens d'une combinaison ne peut se mesurer, de même, qu'en prenant un autre corps pour terme de comparaison.

Faraday a choisi pour étalon, dans son voltamètre, la force décomposante de l'électricité, appliquée à l'eau commune. La quantité d'électricité capable de décomposer 9 kilogr. d'eau et d'en séparer ainsi 1 kilogr. d'hydrogène, sépare de leurs oxydes respectifs, 32 kilogr. de cuivre, 59 kilogr. d'étain, 104 kilogr. de plomb, 108 kilogr. d'argent, etc., c'est-à-dire une molécule chimique de chacun de ces corps.

Cette belle relation, découverte par Faraday, développée par notre savant confrère M. Edmond Becquerel et par M. Matteucci, prouve donc que, pour des combinaisons de même ordre, une molécule exige, quel que soit son poids,

la même quantité d'électricité pour sa libération : 1 seul kilogr. d'hydrogène en consomme autant que 108 kilogr. d'argent.

Faraday, complétant sa pensée, prouve de plus que l'électricité mise en mouvement par une molécule de zinc, consommée dans la pile pendant sa conversion en oxyde de zinc, représente celle qu'une molécule de tout autre métal ou une molécule d'hydrogène exigeraient pour leur libération, s'il s'agissait de les séparer de leurs oxydes. La réaction est égale à l'action, axiome que Faraday a mis plus que personne souvent à profit.

Dieu a tout fait avec nombre, mesure et poids. Ces paroles du livre de la Sagesse datent de deux mille ans, et les chimistes y trouvent toujours l'expression fidèle des harmonies observées de nos jours, dans le nombre des particules qui composent les corps, dans leur volume et dans leur poids.

Faraday ajoute quelque chose de nouveau à la formule antique ; il nous apprend que toutes les molécules du même ordre ont besoin, quels que soient leur nature, leur forme, leur poids et leurs qualités spécifiques, qu'on emploie la même quantité de force pour river ou pour briser les chaînes qui les fixent dans les liens d'un composé.

Ces lois rendent à la fois l'étude de la science de l'électricité attrayante et ses applications faciles. Elles ont le double mérite de saisir vivement, par leur clarté, l'esprit des élèves sur les bancs de l'école, et de fournir au praticien, dans les ateliers, la mesure des forces qu'il emploie.

Nous allons pénétrer maintenant dans le cercle des travaux que Faraday a consacrés à l'électricité induite. Partout

il serait juste, à la place où j'ai l'honneur de parler il est de mon devoir, d'y entrer par un hommage rendu à l'une des plus belles découvertes d'Arago.

Ceux qui n'ont jamais assisté à ce travail de l'esprit qui précède une invention ignorent combien d'insomnies ont payé cet éclair qui dissipe le nuage. Il me semble encore voir Arago, occupé d'une belle boussole qu'il avait demandée à Gambey, en surveillant la construction, annonçant son installation, point de départ d'une série nouvelle d'observations magnétiques. Toutes les précautions avaient été prises : la monture, en cuivre rouge absolument exempt de fer, était assez massive pour assurer la parfaite stabilité de l'appareil. A peine Arago avait-il reçu cet instrument si désiré, qu'en sortant de sa leçon à l'École polytechnique, il entrait dans mon laboratoire, voisin de son amphithéâtre. « La chimie, me dit-il brusquement, ne peut donc pas reconnaître la présence du fer dans un barreau de cuivre rouge? — Comment! rien n'est plus facile. — Eh bien, l'aiguille aimantée découvre du fer que la chimie ne voit pas. » Je le suivis à l'Observatoire. Berthier avait analysé le cuivre employé par Gambey; il n'y avait pas trouvé de fer. Cependant son aiguille aimantée, délicatement suspendue et du meilleur travail, étant écartée du repos, au lieu d'y revenir lentement, par deux ou trois cents oscillations, de moins en moins étendues, se bornait à accomplir, et comme à regret, trois ou quatre oscillations brèves, pour s'arrêter subitement. On eût dit qu'elle trouvait, dans l'air, épaissi sur son chemin, une résistance invincible.

Arago me remit quelques échantillons du cuivre qui avait été employé pour la monture, et je constatai facilement,



comme l'avait fait Berthier, qu'il était absolument exempt de fer.

Pendant quelque temps, Arago mettait volontiers en parallèle cette impuissance de la chimie et cette sensibilité surprenante de l'aiguille aimantée; il en vint à conclure, cependant, qu'une masse de cuivre ou de toute autre matière non magnétique, placée auprès d'une aiguille aimantée, ralentit ou arrête son mouvement. L'expérience lui ayant donné raison, il pensa qu'une semblable masse en mouvement pourrait entraîner, à son tour, une aiguille aimantée au repos, placée dans son voisinage, et il nous rendit témoins de cette étonnante action.

Le magnétisme de rotation ou le magnétisme en mouvement était découvert; il restait à l'expliquer. Arago ne l'essaya point. Il écouta d'une oreille distraite toutes les hypothèses auxquelles sa célèbre expérience donnait lieu, et au moment où Faraday développait, dans un de ses meilleurs mémoires, une théorie du magnétisme de rotation qui contenta les physiciens, Arago n'en fut pas complétement satisfait.

Arago constatait, en effet, que tous les corps sans exception, magnétiques ou non, conducteurs de l'électricité ou isolants, placés au voisinage d'une aiguille aimantée, en ralentissaient les oscillations. Les corps non conducteurs jouissant eux-mêmes de cette propriété, il en concluait que ses expériences ne pouvaient pas s'expliquer, comme Faraday l'avait supposé, par des courants fugitifs, suscités par l'aiguille elle-même, dans les corps en mouvement placés auprès d'elle. Faraday devait plus tard compléter son explication par la double découverte de l'induction et du diamagnétisme,

en précisant les effets du magnétisme en mouvement et en montrant que tous les corps de la nature sont impressionnés par les effluves magnétiques.

Personne n'ignore aujourd'hui que la science et l'industrie utilisent trois sources d'électricité : celle qui se développe dans les anciennes machines à plateaux de verre ; celle qui provient de la pile de Volta ; celle que produisent les machines fondées sur l'induction.

Les anciennes machines électriques fournissent une électricité peu abondante ; mais le ressort en est tellement tendu, qu'au moment où elle abandonne les corps qui la supportent, pour se précipiter dans le sein de la terre, elle brise tout ce qui s'oppose à son passage.

La pile de Volta fournit une électricité abondante, mais le ressort en est si faible qu'elle agit sur les corps, comme en passant d'une molécule à l'autre. Elle franchit difficilement de grandes distances à travers l'air.

L'électricité des machines de verre et celle des nuées agissent par leur tension, celle de la pile par sa quantité.

Il appartenait à Faraday de découvrir la troisième espèce d'électricité, celle dans laquelle les qualités des deux précédentes se trouvent réunies : car, comme la première, elle lance de longues et foudroyantes étincelles ; comme la seconde, elle pénètre dans l'intérieur des corps pour les échauffer, les fondre, les décomposer.

Sans chercher comment l'électricité naît du frottement d'un plateau de verre ou de la dissolution d'un métal, nous voyons clairement qu'au moment où, dans ces deux cas, les phénomènes électriques apparaissent, ils n'avaient été précédés d'aucune manifestation d'électricité.

Il n'en est pas ainsi de l'électricité induite. Curieux phénomène! Comme son nom l'indique, elle est suggérée par une autre. Un mouvement électrique apparaît-il dans une matière, on le voit se réfléchir dans la matière voisine. Il s'y réfléchit même, comme dans une glace, ce qui est à droite dans l'original se trouvant porté à gauche dans sa copie ou son image.

Si l'on dirige à travers un fil de cuivre un courant continu d'électricité et qu'on place un autre fil de cuivre parallèlement au premier, mais sans communication ni avec lui, ni avec la source d'électricité, ce dernier n'offrira rien de particulier. Mais qu'on rompe ou qu'on rétablisse la circulation de l'électricité dans le premier fil, à chaque rupture et à chaque restitution du courant direct, le second deviendra capable d'agir lui-même sur l'aiguille aimantée, signe visible de la production d'un courant indirect qui s'y manifeste.

Un courant direct, qui commence, développe dans le fil influencé un courant de sens inverse; un courant direct, qui finit, y développe, au contraire, un courant secondaire du même sens. Quand le premier avance, le second recule; quand le premier recule, le second avance.

Qu'on approche ou qu'on éloigne le pôle d'un aimant d'un fil de cuivre, et l'on suscite les mêmes mouvements électriques : c'est ainsi que Faraday, complétant la pensée d'Ampère, nous a appris à transformer le magnétisme en électricité, dans une suite d'expériences qui ont mis plus vivement en lumière l'identité de ces deux forces.

Il a été plus loin, et considérant, avec Ampère encore, la terre comme un grand aimant, il s'en est servi pour exciter des courants électriques d'induction dans des fils de

cuivre convenablement disposés pour les mettre en évidence.

Les aimants, le globe terrestre, deviennent donc à volonté des sources d'électricité.

Tous les traités de physique apprennent aux étudiants de nos lycées et de nos colléges comment Faraday a soumis l'électricité d'induction à une analyse expérimentale pleine de bon sens, de simplicité, de sûreté et de profondeur; comment on est parvenu à rendre excessivement rapide cette rupture et cette restitution du courant, à ramener dans le même sens des actions qui se produisent en sens opposés; enfin, comment le courant secondaire ou induit se trouve renforcé, si l'on contourne les deux fils en spirales qui s'enveloppent et si l'on place un cylindre de fer doux, ou mieux un faisceau de fil de fer, dans la spirale intérieure.

Pour comprendre toute l'importance pratique de la découverte de Faraday, considérée comme source d'une nouvelle manifestation des phénomènes électriques et comme agent puissant mis aux mains de la science et de l'industrie, il suffit de rappeler que c'est elle qui a donné naissance aux machines de Pixii, de Clarke et de Rhumkorff, dont les étincelles, éclatant en longs jets de feu, forment des traits de Jupiter et sont capables de percer des masses de verre de 10 centimètres d'épaisseur.

N'est-il pas digne de remarque que chacune des trois formes sous lesquelles l'électricité s'est manifestée à l'attention dans les premiers essais dont elle a été l'objet, fût si loin de promettre ce qu'elle a tenu?

Ce morceau d'ambre jaune, qui, frotté d'un drap sec, attire la poussière ou la paille légère, n'a-t-il pas créé ces grandes machines ou batteries électriques, capables de foudroyer

l'opérateur imprudent, et donné à Franklin le moyen d'expliquer le tonnerre ou même d'arracher la foudre aux cieux?

Sulzer nous apprend que deux pièces d'argent et de cuivre, placées l'une au-dessous, l'autre au-dessus de la langue et rapprochées jusques au contact, déterminent une sensation singulière. Volta n'y trouve-t-il pas le principe de la pile? Ne découvre-t-il pas, ainsi, cette force nouvelle, qui décompose tous les corps, isole le potassium, produit une lumière comparable à celle du soleil, une chaleur qu'aucun foyer ne surpasse, et une action physiologique qu'aucun être vivant ne peut supporter? Que nous sommes loin de l'insignifiante expérience de Sulzer! Cette force simule maintenant toutes les actions matérielles de la vie chez un animal récemment tué, fait revivre l'expression de toutes les passions sur la face d'un décapité, rétablit le jeu de la respiration dans la poitrine de son cadavre mutilé, donne à ses bras des mouvements athlétiques, et si, ses mains trouvent un point d'appui, le relève debout et frémissant sur ses pieds agités de convulsions désordonnées.

L'électricité d'induction elle-même, dont l'origine est si humble qu'elle en est insaisissable, n'a-t-elle pas fourni le principe des appareils formidables qui ont fait sauter les estacades du Peïho, ouvrant ainsi la route de Pékin à notre armée; n'a-t-elle pas donné la plupart de ces appareils dépassant par leurs résultats tous les prodiges prévus par les imaginations les plus hardies, que la télégraphie électrique emploie?

J'ai toujours trouvé que cette légende de la pomme qui tombe et qui révèle en tombant le principe de l'attraction universelle à Newton, était l'expression populaire d'une

vérité philosophique. Les grands phénomènes éblouissent plus qu'ils n'éclairent.

Dès les premiers âges de l'humanité, le feu a été connu; il y a plus de trois mille ans que la forge ramollit le fer, et que ce métal éclate en vives étincelles; l'incendie a dévoré des forêts, des villes entières. Eh bien! ces brillantes combustions ont-elles enseigné à l'homme comment les combustibles brûlent? non! C'est au mercure, à ce métal qui brûle sans lumière, sans chaleur, qui exige de longs jours pour réaliser paisiblement des effets que le charbon ou le fer produisent avec éclat, en quelques secondes, qu'il était réservé de fournir le principe de la vraie doctrine de la combustion, dont la démonstration, donnée par Lavoisier, a produit dans le monde des sciences et dans celui des arts industriels la plus grande révolution.

On raconte qu'Empédocle se serait précipité dans le cratère de l'Etna, désespérant d'en expliquer la puissance. Davy, Gay-Lussac et Humboldt ont exploré le Vésuve en pleine éruption. Eh bien! ne sommes-nous pas plus près de comprendre ces émotions de l'écorce du globe depuis que, mieux inspirés, deux de nos confrères, MM. Boussingault et Charles Sainte-Claire Deville, l'un en Amérique, l'autre en Europe, ont étudié surtout les manifestations obscures qui précèdent, qui accompagnent et qui suivent les éruptions volcaniques?

Les aurores boréales n'ont-elles pas excité de leur côté l'enthousiasme des voyageurs et celui des poëtes? Combien de savants éminents se sont approchés du pôle pour en pénétrer les causes mystérieuses! Ne faut-il pas réserver cependant pour Arago l'honneur d'en avoir découvert la

nature électro-magnétique, lui qui n'avait pour se guider que leurs effets les plus lointains, invisibles à l'œil et susceptibles d'agir seulement sur les aiguilles aimantées de l'observatoire de Paris? N'était-il pas parvenu à reconnaître, à heure fixe, l'apparition d'une aurore boréale, à constater sa durée et son intensité, sans sortir de son cabinet, alors que le ciel de Paris était privé de toute apparence d'illumination, et que les lueurs de l'aurore ne s'étaient manifestées qu'à des centaines de lieues de notre horizon? Les observateurs, voisins du pôle, voyaient le phénomène sans le comprendre; Arago le comprenait, même sans le voir.

Ce qui fait marcher les sciences, c'est, le plus souvent, un détail presque insensible, observé avec des instruments délicats, mesuré avec précision, contrôlé et poursuivi dans ses conséquences avec une logique patiente. Ceux qui croient que dans l'étude de la nature les grandes choses naissent des grandes occasions se trompent. Le germe d'une idée, comme celui des êtres vivants, reste invisible jusqu'à ce qu'il trouve son terrain et débute comme eux, faible, débile et caché.

L'électricité d'induction est seule capable de produire, dans l'air raréfié ou dans les vapeurs à faible tension, ces lueurs stratifiées et colorées qui amusent déjà nos jeunes enfants et qui étonnent encore le physicien. C'est à elle qu'on a recours pour enflammer ces mines formidables qui brisent des montagnes, ces torpilles sous-marines qui foudroient les navires de guerre et qui entourent les ports d'une barrière infranchissable. C'est son action que l'art de guérir met à profit et qu'elle distingue, sous le nom de faradisation, des procédés d'électrisation anciens, toujours rebelles à cette graduation, à l'infini, à laquelle les appareils d'induction se prêtent,

et qui permet de passer instantanément des attouchements électriques les plus délicats aux secousses les plus énergiques et à la cautérisation.

Les machines électro-motrices fondées sur l'induction, dans lesquelles de puissants aimants excitent à travers les spirales de fil de cuivre, mises en leur présence, des courants électriques qu'on recueille et qu'on utilise, ont trouvé deux intéressantes applications. Dans les ateliers de dorure et d'argenture, le courant qu'elles produisent détermine le dépôt du métal. Au cap la Hève, l'administration des phares les emploie avec une grande économie, pour déterminer l'incandescence des charbons qui remplacent avec un si grand éclat les anciennes lampes à huile.

Faraday a donc découvert, et ses successeurs, en s'appuyant sur ses propres idées, ont rendu pratique, l'art de convertir la force mécanique en électricité, car la seule dépense d'une machine magnéto-électrique consiste en houille, destinée à produire la vapeur dont la puissance rapproche ou éloigne les spirales de cuivre des pôles des aimants, devenus ainsi la source généreuse de la force électrique utilisée.

Tout le monde sait combien ont été, jusqu'ici, nombreuses et vaines les tentatives au moyen desquelles on a cherché à convertir l'électricité en force mécanique. En principe, rien n'est plus facile; en pratique, rien n'est moins applicable. La force mécanique est à bas prix; l'électricité est chère. Il est donc aussi naturel d'employer la force mécanique pour produire de l'électricité, qu'il l'est peu de tenter l'emploi de l'électricité comme moteur. S'il m'était permis de faire une comparaison, je dirais que dans l'état de la science il est aussi peu logique de chercher à convertir l'électricité en

force mécanique, qu'il le serait de chercher à convertir le diamant en charbon. Mieux vaut faire l'inverse.

Sir Robert Peel, frappé des grands services que Faraday venait de rendre par ces mémorables découvertes sur la théorie de la pile, sur l'induction, sur la liquéfaction des gaz, avait songé à lui offrir une pension, mais il quitta le ministère sans avoir accompli ce projet. Lord Melbourne, son successeur, voulant le réaliser, désira naturellement voir notre illustre confrère, qu'il ne connaissait point. Au lieu des remercîments auxquels il s'attendait, le ministre étonné se trouva en présence de scrupules imprévus. Faraday se demandait s'il n'était plus assez jeune pour gagner sa vie; s'il avait le droit de recevoir du pays une somme qui ne correspondait à aucune occupation définie. Quelques paroles d'impatience échappées à lord Melbourne déterminèrent Faraday, se repliant dans sa dignité blessée, à refuser la pension qui lui était offerte, et l'homme d'État, qui d'abord avait ri de ce rare incident, comprit, mieux informé, qu'il n'en fallait pas rire et qu'il s'était mépris. Il fit négocier auprès du savant, pour qu'il revînt sur sa détermination. Comment le pourrais-je? répondait Faraday; il faudrait que le ministre m'écrivît une lettre d'excuses! Ai-je le droit ou même la pensée d'exiger de lui rien de pareil? Mais les excuses lui arrivèrent, franchement et simplement exprimées, et il ne resta rien de cette affaire, sinon que le premier ministre et le philosophe en avaient appris à se connaître et à s'estimer.

Qui n'a été dans son enfance un peu ému des récits dont les poissons électriques sont l'objet? Mais, assurément, le

plus extraordinaire d'entre eux est ce gymnote, auquel Humboldt consacre le plus dramatique de ses tableaux.

« La pêche des gymnotes avec des filets est très-difficile, « dit-il, ces agiles poissons, au moindre bruit, s'enfonçant « dans la vase; les Indiens, à notre surprise extrême, annon- « cent qu'ils vont les pêcher avec des chevaux. Ils en amènent, « en effet, une trentaine, qu'on force d'entrer dans la mare où « se trouvent les gymnotes. Le bruit causé par le piétinement « des chevaux fait sortir les poissons de la vase et les excite au « combat. Ces anguilles jaunâtres et livides, longues de cinq « pieds, semblables à de grands serpents aquatiques, nagent « à la surface de l'eau et se pressent sous le ventre des che- « vaux. Une lutte s'engage, animée par les cris sauvages des « Indiens. Les anguilles, étourdies du bruit, se défendent « par la décharge réitérée de leurs batteries électriques. « Plusieurs chevaux succombent sous la violence des coups ; « étourdis par la force et la fréquence des commotions, ils « disparaissent sous l'eau. D'autres, haletant, la crinière « hérissée, les yeux hagards et exprimant l'angoisse, se relè- « vent et cherchent à fuir l'orage. On les voit gagner la rive, « broncher à chaque pas et tomber sur le sable.

« En moins de cinq minutes, deux chevaux étaient noyés. « Mais, bientôt, les gymnotes fatigués se dispersent, se rap- « prochent du bord et se laissent harponner sans résis- « tance et sans inconvénient pour le pêcheur, pourvu que « la corde qui porte le harpon soit sèche. »

L'Institution polytechnique de Londres ayant fait venir d'Amérique un gymnote électrique pour attirer les visiteurs dans ses galeries, ses administrateurs eurent le bon goût de mettre cet animal rare et curieux, le seul que l'Europe eût

possédé, à l'entière disposition de Faraday. Il n'en abusa point. A force de patience, il parvint à obtenir de lui tout ce que la science pouvait en réclamer, sans compromettre un seul instant sa vie par des essais irréfléchis.

Ce gymnote était aveugle. Il tournait autour de son baquet d'un mouvement lent, régulier, continu, machinal et comme indifférent. Quelle vigilance, cependant, et quelle adresse ! Si on laissait tomber un poisson vivant au centre même du baquet, le plus loin possible de la grosse anguille, à peine avait-il touché la surface de l'eau qu'il était foudroyé et qu'on le voyait flotter immobile, sur le dos. Le gymnote, cependant, suspendant sa promenade circulaire, se rapprochait du lieu de la scène, ouvrait la bouche, et, par un mouvement d'aspiration énergique, déterminait un courant qui amenait jusqu'à lui sa proie qu'il n'apercevait pas, et qui, se présentant par la tête, était avalée comme un bol. Il reprenait de suite sa promenade interrompue.

Quand on a manié les torpilles de nos côtes, on s'étonne de la peur qu'elles inspirent aux pêcheurs et des contes ridicules dont elles sont l'objet. Quand on avait reçu la secousse de ce vieil aveugle, on n'était plus tenté de taxer d'exagération le tableau tracé par Humboldt.

Faraday obtint de l'animal mis à sa disposition une nouvelle démonstration de l'identité des effets produits par son appareil organique et de ceux que l'électricité provoque. Le fluide du gymnote lui fournit des étincelles, des effets magnétiques, des actions chimiques; en un mot, tout le cortége ordinaire des phénomènes produits par l'électricité, ainsi que la torpille l'avait fait entre les mains de M. Matteucci et des savants italiens.

Mais on n'en était plus au temps où les études de l'électricité animale jetaient le trouble dans les esprits et provoquaient des espérances sans bornes.

Faraday me disait à ce sujet : « Puisque les êtres vivants produisent de la chaleur et une chaleur identique assurément avec celle de nos foyers, pourquoi ne produiraient-ils pas aussi de l'électricité et une électricité identique également avec celle de nos machines ? Mais, si la chaleur produite pendant la vie, nécessaire à la vie, n'est cependant pas la vie, pourquoi l'électricité elle-même serait-elle la vie? Comme la chaleur, comme l'action chimique, l'électricité est un instrument de la vie et rien de plus. »

J'aime à rapprocher ces souvenirs de ceux que Faraday lui-même consignait, peu de temps après, dans les notes recueillies pendant un voyage qu'il fit en Suisse avec son beau-frère, M. Barnard, pour rétablir sa santé fortement ébranlée. On appréciera comment ses conceptions scientifiques les plus hardies, s'arrêtant au point où l'impuissance de l'homme se révèle, se conciliaient sans effort avec les convictions religieuses les plus profondes, et comment les raisonnements calmes et froids du savant n'étouffaient jamais en lui les dons d'une imagination heureuse.

Établi à Interlaken, il se rendait volontiers à la chute du Giessbach, sur le lac de Brientz. « Aujourd'hui, dit-il dans « une des pages de son journal, toutes les chutes écumaient, « le courant d'air qu'elles produisaient en défendait les ap- « proches; le soleil brillait derrière nous. Au milieu de la « poussière d'eau soulevée de toutes parts, se montraient « des arcs-en-ciel magnifiques. Au fond d'une des chutes « les plus furieuses, on en distinguait un, surtout, lumineux

« et charmant. Autour de lui, tout était agitation et désor-
« dre. Les brouillards de vapeur, les nuages de rosée en-
« gendrés par les éclaboussures de la chute, se tordaient fu-
« rieux, précipités et brisés sur le rocher même qui servait
« de base au météore. Cependant celui-ci, brillant et ra-
« dieux, comme un pur esprit, ferme dans la foi et fort au
« milieu des passions qui l'assiégent, ne disparaissait que
« pour revivre. Toujours appuyé sur le roc, il semblait,
« comme au temps de Noé, recevoir d'en haut l'espérance
« pour la réfléchir et la répandre, et les gouttes d'eau irritées
« qui, se précipitant sur lui, menaçaient d'en effacer les
« couleurs, ranimant au contraire leur éclat, ne faisaient
« qu'ajouter à son calme et à sa beauté. »

Faraday éprouva bientôt l'une de ses grandes joies, car il plaçait, j'en suis certain, parmi les événements les plus heureux de son existence l'honneur que notre Académie lui avait fait en lui donnant le titre d'associé étranger. Les témoignages de respect et de sympathie dont il était l'objet sur tous les points du monde le touchaient vivement. Dans la préface de *Bajazet,* Racine s'excuse d'avoir emprunté un sujet de tragédie à l'histoire contemporaine; mais il fait remarquer que la distance, comme le temps, éloigne de nous les événements. Faraday, à son tour, pensait sans doute que les suffrages qui viennent de loin sont comme les avant-coureurs du jugement de la postérité, et, tandis qu'il témoignait moins d'empressement pour les honneurs que son propre pays lui aurait si volontiers offerts, il conservait et enregistrait avec soin les hommages qui lui étaient prodigués dans le reste du monde.

La grande estime qu'il faisait de notre opinion se manifeste par cette note écrite de sa main, au milieu du relevé de ses

titres académiques, à côté de celui qu'il avait reçu de nous. C'est le cœur qui parle et qui s'adresse au cœur d'une amie chère et fidèle : « Parmi ces précieux souvenirs et ces heureux « événements, j'inscris ici (après vingt-six ans de mariage) « la date de celui qui dépasse de beaucoup les autres comme « source d'honneur et de bonheur; nous fûmes mariés le « 21 juin 1821. » A la suite de cette note, se trouvent les pièces qui constatent cette union.

Ce que toute autre femme de savant en aurait pensé, serait recherche inutile; madame Faraday, pour qui il se montrait toujours animé d'un sentiment mêlé de chevalerie et d'affection, vit sans jalousie ce rapprochement entre le culte de la science et celui du foyer domestique. Ceux d'entre nous à qui il a été permis d'apprécier ces deux êtres si rares et la délicate harmonie de leurs belles âmes, jugeront que Faraday mettait bien haut les titres par lesquels les académies étrangères s'associaient à sa gloire, en les mêlant aux actes qui lui avaient donné la noble compagne de sa vie.

Faraday devait terminer sa carrière scientifique par deux grandes découvertes : l'action du magnétisme sur la lumière par l'intermédiaire de la matière et le diamagnétisme.

Dans une lettre qu'il m'écrivait le 17 janvier 1845, il m'annonçait le premier de ces événements considérables, et il me chargeait d'en informer l'Académie. « Si l'on fait passer, di- « sait-il, un rayon lumineux polarisé à travers une substance « transparente, et que celle-ci soit placée dans le champ « magnétique, la ligne de force magnétique étant disposée « parallèlement au rayon lumineux, celui-ci éprouvera une

« rotation. Si l'on renverse le sens du courant magnétique, « le sens de la rotation du rayon lumineux sera également « renversé. »

« Je vois là, ajoutait-il, une action magnétique s'exerçant « sur le rayon lumineux lui-même ; mais plusieurs de « mes amis qui, toutefois, n'ont pas été à même de prendre « en considération tous les faits que j'ai étudiés, sont « d'avis que ce phénomène ne prouve rien de tel. Ainsi, « quoique mon opinion demeure la même, je reconnais vo- « lontiers qu'il se pourrait qu'elle fût erronée. »

Les amis que Faraday avait consultés pensaient que ses puissants aimants exerçaient un glissement ou une torsion sur les particules matérielles des corps transparents, et leur communiquaient pour un moment les propriétés que le sucre et certaines variétés de quartz possèdent toujours ; sa belle expérience démontrait de nouveau l'action des courants magnétiques sur les molécules matérielles, qu'ils transportent, lorsqu'elles sont libres, et qu'ils tendent à arracher de leur place, lorsqu'elles sont fixes; mais elle n'allait pas plus loin.

Faraday n'a jamais accepté cette explication, et il croyait en avoir fait justice par une épreuve bien connue.

Si les molécules de la matière sont tordues dans un certain sens par l'aimant, de manière à devenir comparables à celles des corps naturellement doués du pouvoir rotatoire, le rayon lumineux qui traverse la masse transparente, de gauche à droite, par exemple, aura son plan de polarisation dévié d'une certaine quantité; mais, ramené de droite à gauche par le même chemin, il devra éprouver une action exactement inverse, et reprendre sa première route. Faraday démontre que, loin de s'annuler, les déviations du plan de polarisation

produites par la marche du rayon allant ou revenant sur lui-même, s'ajoutent. Après trois, quatre, cinq voyages, en sens direct ou inverse, peu importe, ces déviations sont trois, quatre, cinq fois plus intenses qu'elles ne l'étaient par un seul trajet : phénomène absolument opposé à celui que le rayon lumineux polarisé nous fait voir quand il passe deux fois en sens direct et inverse dans une substance douée du pouvoir rotatoire naturel ; car en ce cas les déviations s'annulent.

Faraday, me rendant témoin de ces admirables phénomènes, lorsqu'il en arrivait à cette dernière expérience, se frottait vivement les mains, et ses yeux pleins de feu, sa physionomie animée, témoignaient du sentiment passionné qu'il portait à la découverte de la vérité.

Il y a donc autre chose, dans cette merveilleuse action, qu'un déplacement des particules de la matière. Faut-il supposer que l'action magnétique s'exerce sur l'éther ? Faut-il admettre qu'elle modifie les rapports naturels de l'éther et de la matière ? L'avenir en décidera. Ce qui demeure incontestable, c'est que la force magnétique et la lumière sont en rapport direct, puisque la première agit toujours sur le faisceau lumineux de la même manière et dans le même sens. Ce qui demeure incontestable aussi, c'est que le magnétisme et la lumière agissent l'un sur l'autre par l'intermédiaire de la matière, puisqu'en l'absence de toute matière, dans le vide, par exemple, le phénomène ne se produit pas, et qu'avec des corps transparents divers, il se produit avec des intensités constantes pour chacun d'eux, mais différentes par la quantité et même par le sens, selon leur nature.

Ainsi, l'action que le magnétisme exerce sur la lumière, comme l'avait jugé Faraday, du premier coup d'œil,

offre ce double caractère qu'elle semble à la fois directe et indirecte : directe, si l'on en étudie les effets sur le rayon lumineux qui semble alors seul en cause ; indirecte, si l'on cherche la part qui appartient à la matière dont la présence est indispensable, et dont la nature exerce un changement incontestable dans les effets observés.

Mais cette découverte si considérable, si inattendue et si loin encore d'avoir porté tous ses fruits, devait conduire Faraday à mettre en lumière l'une des propriétés les plus générales de la matière.

Un amateur français ingénieux, Lebaillif, avait reconnu que le bismuth éprouve de la part de l'aimant un effet contraire à celui qu'il exerce sur le fer : au lieu d'en être attiré, il en est repoussé. Faraday démontre que ces deux manières d'agir de l'aimant sur le fer et sur le bismuth sont des cas particuliers d'une loi générale.

Parmi les corps, les uns, comme le fer, le nickel, le cobalt, le manganèse et le platine, sont attirés par les pôles de l'aimant, les autres sont repoussés ; de telle sorte que, si ces derniers étaient suffisamment sensibles aux influences magnétiques, une boussole qui en serait formée, au lieu de prendre sa direction du nord au sud, se tournerait vers l'est et l'ouest.

Le magnétisme agit donc sur toute la nature. Les anciens ne connaissaient que la pierre d'aimant ; les modernes ont limité pendant longtemps l'action magnétique au fer et à l'acier, d'abord, puis à quelques métaux. Les travaux de Faraday font voir que tous les métaux, tous les solides, tous les liquides, tous les gaz même, sont im-

pressionnés par le fluide magnétique; les uns, à la manière du fer, en prenant une direction polaire; les autres, à la manière du bismuth, du plomb, de l'argent, du cuivre et de l'or, en prenant une direction équatoriale.

Ainsi, ce n'est pas seulement l'aiguille aimantée qui obéit à l'action des courants magnétiques et qui en est impressionnée. L'air qui nous entoure est magnétique, à la manière du fer, surtout par son oxygène, comme le démontre notre confrère M. Edmond Becquerel, qui a si bien étudié le magnétisme des gaz, et notre atmosphère, condensée à la surface de la terre, y produirait l'effet d'une enveloppe de fer de l'épaisseur d'une feuille de papier.

L'hydrogène, au contraire, est doué du magnétisme équatorial; il en est de même de l'eau, soit liquide, soit gelée.

Les matières organiques, les fruits, le sang, la chair, se comportent à la manière de l'eau.

Ainsi, dans un être vivant, tous les tissus et même tous les liquides sont impressionnés par les impulsions magnétiques.

Les partisans du magnétisme animal pourraient donc sourire des savants et de leur longue incrédulité; mais, ici comme en tout, entre eux et les savants, il n'y a de commun que les mots.

Ce n'est pas le lieu de développer les études dont les expériences de Faraday sur le magnétisme universel ont été l'objet. On peut recommander à ceux qui voudraient approfondir ce sujet important de prendre pour point de départ les vues qui ont si bien dirigé Faraday lui-même.

Il admet qu'autour des pôles d'un aimant il se développe un champ de force magnétique, constitué comme si cette force rayonnait de l'aimant en lignes droites, invisibles et

disposées ainsi que l'indique la limaille de fer répandue sur une feuille de papier, sous laquelle on a couché à plat un aimant énergique.

Le fer et les corps magnétiques obligent ces lignes de force, qui s'enfuyaient dans l'espace, à converger, et, s'ils sont librement suspendus, ils en sont dirigés vers les places où la force est à son maximum. Le bismuth, le cuivre et les corps diamagnétiques, au contraire, font diverger les lignes de force magnétique et sont dirigés, peu à peu, vers les places où la force est à son minimum.

C'est ainsi que, parmi ces substances, les unes, celles qui sont magnétiques, sont attirées par l'aimant, tandis que les autres en sont repoussées; c'est encore ainsi que les unes prennent la direction polaire et les autres la direction équatoriale.

Essayons maintenant de résumer les découvertes mémorables de Faraday dans l'étude de l'électricité.

Il a mis hors de doute que toute action chimique est la source d'un mouvement électrique, proportionnel à son intensité, subordonné à sa durée et dirigé selon son propre sens, identique, enfin, pour tous les équivalents des corps, qui s'engagent dans des combinaisons similaires.

Il a fait connaître un mode nouveau de mouvement électrique, le moins coûteux, le plus puissant, le plus maniable, le plus flexible et le plus universel dans ses effets : l'induction.

Il a converti le magnétisme en électricité et l'électricité en magnétisme, par des méthodes qui ne laissent aucun doute sur l'identité d'origine de ces deux manifestations de la force.

Il a fourni les moyens de rendre visible et certaine la rela-

tion entre le magnétisme et la chaleur que d'anciens phénomènes avaient fait soupçonner.

Il a découvert une action du magnétisme sur la lumière, et, s'il a eu le regret de ne pouvoir mettre en évidence, par réciprocité, une action de la lumière sur le magnétisme, il a ouvert la route.

Il a établi l'existence d'une action universelle du magnétisme sur tous les corps connus : solides, liquides ou gazeux ; bruts ou vivants.

Il a donc démontré par des expériences certaines et désormais popularisées que le magnétisme agit sur la matière dans toutes ses formes et sur la force dans toutes ses manifestations : lumière, chaleur, électricité, force mécanique ou chimique.

Il n'a pas découvert entre l'électricité ou le magnétisme et la pesanteur une relation qu'il a longtemps, je dirais presque toujours cherchée. Mais, si ce dernier trait manque au tableau de sa vie et à la satisfaction de ses convictions sur l'unité de la force, il a montré le chemin à des émules plus heureux.

Ce résumé suffit pour témoigner du changement qui s'est produit dans les opinions des physiciens depuis l'année 1819, signalée par la découverte mémorable d'Œrstedt et par le premier mémoire de Fresnel sur la diffraction. Aux émissions de matières impondérables, qui expliquaient auparavant les propriétés de la lumière, de la chaleur, de l'électricité et du magnétisme, a succédé le système des vibrations ou mouvements auxquels on les attribue aujourd'hui. Ce résumé témoigne aussi de la part considérable qui revient à Faraday dans cette révolution.

Indépendamment d'Œrstedt, qui méritait, par ses convictions réfléchies sur l'identité des forces chimiques et électriques, d'être le premier à constater l'action du courant électrique sur l'aiguille aimantée, l'électricité est surtout redevable, pour ne parler que de ceux qui ne sont plus, à Franklin, Coulomb, Galvani, Volta, Arago, Ampère, Faraday.

Ampère et Faraday ont une place à part dans cette pléiade illustre. Ils ont, chacun de leur côté, non-seulement découvert des faits, mais ils les ont rassemblés et subordonnés à des lois, et quand l'électricité aura trouvé son Newton, on pourra dire que si Ampère en fut le Képler, Faraday en fut le Galilée.

On aime à arrêter son souvenir sur Ampère, sur Faraday, et à comparer ces deux hommes, si divers par les dons de la nature, si rapprochés par le génie et par les travaux. Ce que l'un a fait, l'autre aurait pu le faire. Ils sont inséparables dans le tableau du mouvement scientifique dont l'électricité a été l'objet, comme dans le souvenir de ceux qui les ont vus à l'œuvre. Quelle différence, pourtant, sous tous les rapports entre ces deux inventeurs, dans l'éducation, dans les habitudes, dans la manière d'interroger la nature et dans le point de départ ou la marche de leur investigation ! Ce n'est qu'au but qu'ils se rencontrent ; mais, là, ils se confondent si étroitement, qu'on ne pourrait pas distinguer les résultats obtenus par l'un de ceux que l'autre a constatés : même rectitude dans les vues, même grandeur dans les conséquences, même physionomie dans les formules simples qui expriment les vérités acquises par leurs efforts.

Ampère était grand, mélancolique, gauche dans ses mouvements, lent dans ses allures ; presque aveugle, écrire une

ligne était pour lui une fatigue, tracer correctement un cercle ou un carré une impossibilité. Sa mémoire exercée et sûre avait tout retenu : histoire, philosophie, zoologie, physique, chimie; vers des classiques français et latins; détails minutieux des caractères attribués aux plantes par Jussieu, ou aux animaux par Cuvier. Ses distractions fabuleuses étaient, de son vivant même, passées à l'état de légendes; il aimait à s'abandonner au courant de son imagination; tout devoir lui était pénible. Sa vie scientifique semblait terminée, lorsque la découverte d'OErstedt vint faire vibrer dans sa belle intelligence des cordes que personne et lui-même n'y avaient jamais soupçonnées. Pour matérialiser sa pensée, lui, si maladroit, devenait le plus ingénieux des constructeurs d'appareils; lui, si myope, rendait visibles à tous, par les yeux du corps et par les expériences les plus claires, des propriétés cachées de la matière que la méditation seule dévoilait aux yeux de son esprit; ce rêveur était saisi d'une vive passion, et son intelligence, portée soudain vers une région supérieure, dévoilait, en quelques semaines, des vues neuves sur la constitution moléculaire des aimants, des faits prédits avec une logique admirable et mis en évidence avec sûreté, des lois, enfin, formant ce code de l'électricité dynamique, consacré déjà par le temps.

Faraday était de taille moyenne, vif, gai, l'œil alerte, le mouvement prompt et sûr, d'une adresse incomparable dans l'art d'expérimenter. Exact, précis, tout à ses devoirs; lorsqu'il préparait, dans sa jeunesse, les leçons de chimie à l'Institution royale, chaque expérience, menée à point, répondait si bien à la pensée et à la parole du maître, qu'on avait coutume de dire alors que celui-ci professait sur le velours. A la

fin de sa vie, lorsqu'il avait quitté la chaire, redevenu auditeur, il suivait de l'œil tous les appareils, surveillant leur marche, prêt à la hâter ou à la ralentir, à réparer le moindre désordre, sans affectation, et comme s'il accomplissait l'office d'un régulateur naturel identifié avec la pensée du professeur. Il vivait dans son laboratoire au milieu de ses instruments de recherche; il s'y rendait le matin et en sortait le soir, aussi exact qu'un négociant qui passe la journée dans ses bureaux. Toute sa vie fut consacrée à y tenter des expériences nouvelles, trouvant, dans la plupart des cas, qu'il était plus court de faire parler la nature que d'essayer de la deviner. Obligé par sa mémoire ingrate et infidèle de noter et de numéroter les faits qu'il découvrait ou les idées qui germaient dans son esprit et d'en tenir registre, il en dressait soigneusement la table, certain que, sans cette précaution, il ne les retrouverait jamais au moment du besoin. Faraday, qui n'était pas mathématicien, a été moins prompt dans ses conceptions qu'Ampère; son œuvre, fondée sur l'expérience seule, a été plus lente; mais, comme lui, il s'est élevé à la plus haute contemplation de la nature, et, comme lui, il a découvert tout un ensemble de faits certains et de lois incontestables qui lient à jamais son nom glorieux à l'histoire de l'électro-magnétisme.

Entre Ampère et Faraday, l'un tout à la méditation, l'autre tout à l'action, l'un demandant tout à la pensée, l'autre tout aux faits, rien de commun au premier abord. Le premier ressemble au physiologiste qui, partant des lois de la vie, descend à la connaissance des organes et à celle de leur jeu; le second, à l'anatomiste qui, de l'étude matérielle des appareils organiques, s'élève à la conception de leur mécanisme et

à l'interprétation de leur rôle dans l'homme vivant. Partis de points opposés, ils arrivent pourtant au même but, et nul ne saurait dire, alors, si la vérité qu'ils révèlent est le fruit d'une forte conception confirmée par l'expérience, ou celui d'une expérience heureuse, interprétée par une intelligence sûre. C'est ainsi qu'un même spectacle s'offre au regard de l'aigle qu'un vol porte au sommet des Alpes et à celui du voyageur qui en a gravi les pentes lentement et pas à pas.

Mais Ampère et Faraday avaient l'un et l'autre la fibre poétique, le cœur ouvert et l'âme haute. Ils ignoraient la jalousie et l'envie. Toute lumière les remplissait de joie, qu'elle vînt du dedans ou du dehors, qu'elle jaillît de leur propre cerveau ou de celui d'un émule. La jeunesse les trouvait pleins de bonté et d'affectueuse bienveillance. Tout succès les rendait heureux. Ils aimaient l'humanité et sa grandeur ; ils respectaient son caractère et sa mission sur la terre. Ils se considéraient comme des instruments d'une volonté suprême, à laquelle ils obéissaient avec respect, et si, pour ceux qui ne connaissent que leurs œuvres, ils comptent parmi les génies qui sont l'orgueil des fils des hommes, pour ceux qui ont connu leurs personnes, ils se placent parmi les plus humbles et les plus soumises des créatures de Dieu.

Ampère était universel. L'un des plus profonds géomètres de son époque, quand on le voyait dans l'intimité de Jussieu, de Cuvier, de Geoffroy-Saint-Hilaire, car il aimait les causeries du monde, on se disait : Il sait tout, il comprend tout, il pénètre au-delà de tout.

Faraday était plus spécial : chimiste au début de sa carrière, il s'était détourné, peu à peu, vers l'étude de la physique, et s'était concentré dans l'étude de l'électricité. Plus

extérieur, il vivait par les sens autant que par la pensée. Il n'aimait guère les réunions du monde, mais les grandes scènes l'attiraient et le remplissaient d'une ivresse fébrile. Le coucher du soleil dans la campagne, un orage sur les bords de la mer, un effet de brouillard dans les Alpes, excitaient en lui les plus vives sensations; il les comprenait en peintre, il en était ému en poëte, il les analysait en savant. Le regard, la parole, le geste, tout trahissait alors en lui l'intime communion de son âme avec l'âme de la nature.

Une belle démonstration l'animait du même enthousiasme. On se souvient de l'ardeur généreuse avec laquelle il exposait, dans une soirée de l'Institution royale et devant Ebelmen ému, les beaux travaux de notre regretté compatriote sur la formation artificielle des gemmes. Où trouver un admirateur qui se soit montré plus passionné pour les beaux spectacles dont un de nos plus illustres confrères, M. Henry Sainte-Claire Deville, rend les chimistes témoins, en produisant par masses le sodium et l'aluminium, en fondant le platine en bains éblouissants de clarté?

Un aimable génie, dont la perte récente sera pour l'Académie un long deuil, Foucault, dont les procédés avaient tant d'analogie avec ceux de Faraday dans l'art de consulter la nature, ne fut jamais plus heureux, peut-être, que dans les occasions où il l'avait pour témoin intime de ses admirables expériences. Quand ces deux hommes, les mains dans les mains, les yeux humides, mais pleins de clartés, se remerciaient sans parler, l'un du bonheur qu'il avait éprouvé, l'autre de l'honneur qu'il avait reçu, je l'affirme, ce regard, cette étreinte, venaient de plus loin et remontaient plus haut que la terre.

Hélas! qui aurait dit, en ce moment, que ces deux belles intelligences devaient bientôt être voilées; et qu'avant de quitter ce monde, où leurs expériences ont répandu de si vives lumières, l'un perdrait la mémoire des mots et la faculté d'énoncer les conceptions que son esprit fatigué semblait embrasser encore; l'autre la mémoire des faits et le souvenir même de ses beaux travaux, tout en conservant le moyen de communiquer les sentiments et les idées ordinaires de la vie commune!

Il y a longtemps que Faraday me disait avec résignation : Ma mémoire se perd; j'oublie les noms propres; j'oublie quelquefois mes expériences personnelles elles-mêmes. — Vous êtes, lui répondais-je, m'associant peut-être à sa propre pensée, comme Jacob, qui, après avoir lutté toute la nuit près du gué de Jabbok contre Celui qui s'opposait à son passage, demeure libre, mais paralysé d'un membre, au moment où le soleil paraît à l'horizon. Vous aussi, vous avez lutté dans les ténèbres, jusqu'au lever de l'aurore, et quand la lumière s'est faite, quand vous avez vu la vérité, face à face, si votre intelligence a été délivrée du doute, elle reste épuisée de l'effort.

Faraday, qui avait toujours redouté cette épreuve, fut forcé de résigner son enseignement en 1862, et de faire ses adieux à cet auditoire choisi de l'Institution royale, au milieu duquel il avait passé sa vie entière, qui avait eu la primeur de toutes ses découvertes et qui avait joui de tous ses succès, plus que lui-même.

S'il se survécut pendant quelque temps, dans cette retraite d'Hampton Court, qu'il devait à la sollicitude de la Reine, son cœur resta toujours ouvert. Son bonheur était de

s'y voir entouré des siens; son enthousiasme pour les orages et les tempêtes ne se démentit pas; et lorsqu'il imposait ses nobles mains sur le front de M. Tyndall, son élève, assis à ses pieds, on eût dit que, par une réminiscence touchante, il cherchait à recueillir dans sa pensée les titres de sa mission sur la terre, pour les transmettre intacts, avant de la quitter, à celui qu'il avait choisi comme son successeur et qui se montre si digne de sa paternelle confiance.

Faraday s'éteignit doucement dans son fauteuil et comme s'il s'endormait du sommeil du juste, le 25 août 1867, les yeux fixés vers le ciel.

Faraday offrait au moral un type vraiment rare. Sa vivacité, sa bonne humeur, rappelaient l'Irlande; son esprit réfléchi et la force de sa logique faisaient songer à la philosophie écossaise; sa ténacité décelait l'Anglais que rien ne détourne de sa voie. On n'est donc pas surpris d'apprendre que sa famille était fixée en Angleterre depuis deux générations au moins, que sa religion était empruntée à l'Écosse par une transmission certainement héréditaire, et que ses parents avaient gardé le souvenir traditionnel d'une origine irlandaise.

Quoi qu'il en soit, on peut dire que Faraday n'avait gardé que les qualités des trois races qui paraissent s'être aliées parmi ses ancêtres, et qu'il avait corrigé les défauts qu'on leur prête, à tort, assurément; mais il n'était ni léger, ni pédant, ni égoïste.

On ne connaîtrait pas Faraday, si l'on ne pénétrait pas assez avant dans sa vie pour mettre en parallèle son amour pour la science et sa foi religieuse; deux formes distinctes, mais inséparables, à ses yeux, du culte qu'il rendait à la

divinité. Tout ce qui est terrestre, disait-il, peut être connu par l'esprit de l'homme; mais tout ce qui concerne la vie future échappe à cet esprit et doit lui être communiqué par un autre enseignement. Il affirmait donc hardiment une distinction absolue entre les croyances ordinaires fondées sur l'observation des faits, et la foi religieuse fondée sur la révélation.

Faraday appartenait à la secte des *Glassites* ou *Sandemaniens,* à laquelle sa participation aura donné une célébrité inattendue. Les noms de cette petite Église, qui compte à peine en Angleterre mille adhérents aujourd'hui, sont empruntés à celui de son fondateur Glass, déposé vers 1730, pour ses opinions, par l'Église écossaise, et à celui de son disciple énergique, Sandeman, qui en conserva la foi.

Les Sandemaniens croient que la mort du Christ suffit au salut et à l'expiation; ils se rapprochent des premiers chrétiens : prédicateurs élus par les fidèles; repas fraternel entre les deux services du dimanche; communauté des biens, au moins jusqu'à concurrence de la disparition de toute pauvreté dans les familles unies; défense absolue du prêt à intérêt.

Faraday fut pendant une grande partie de sa vie Ancien de son Église et ne renonça à la prédication qu'au moment où il abandonnait l'enseignement lui-même.

Le nom de Faraday doit donc être ajouté à la liste de ceux qui ont été aussi sincères dans leur foi que profonds dans leur science. Les hommes religieux de l'Angleterre constatent que Newton et Faraday, qu'ils considèrent, l'un, comme le plus élevé des géomètres, l'autre, comme le plus heureux des expérimentateurs, n'ont rien vu dans l'étude

de la nature qui pût ébranler leur croyance. Newton, pénétrant dans les profondeurs des cieux, assujettissant pour toujours la marche des astres au calcul et révélant à l'homme les lois du système du monde ; Faraday, pénétrant dans les entrailles de la matière, faisant jaillir du choc de ses particules invisibles ou de la rencontre des forces insensibles qu'elles recèlent des pouvoirs merveilleux ou redoutables, ont également gardé, disent-ils, les pieuses convictions de leur enfance. L'orgueil du succès ne les a jamais enivrés, et, tandis que leurs propres découvertes servaient, à côté d'eux, d'argument aux incrédules, leur conviction personnelle ne s'est pas démentie un instant.

J'ai beaucoup étudié Faraday ; je ne l'ai bien connu, pourtant, qu'après sa mort et par lui-même. Sa perfection, que je croyais spontanée, était le fruit d'une observation constante et d'une fermeté d'âme à toute épreuve. Vers sa vingtième année, ses lettres les plus intimes me le montrent maître de ses vivacités, mais non sans combat ; plus tard, elles le font voir ayant dompté, mais non sans peine, une fierté toujours près de la révolte ; plus tard, enfin, il craint d'avoir écouté le démon de l'orgueil, et il prend volontiers pour texte de ses sermons, qu'on n'a pas oubliés dans sa communauté : « Que la parole divine soit comme le marteau qui brise « le rocher, et qu'elle soumette à Dieu toute pensée orgueil- « leuse et vaine. »

Il admettait, en effet, avec la plus grande simplicité d'âme, ainsi que tous ses coreligionnaires, qui en font un article fondamental de leur doctrine : « que les mérites humains ne sont rien aux yeux de Dieu. »

C'est en séparant les opinions que lui inspirait l'étude de

la nature et celles qu'il avait reçues, au sujet des vrais fondements de la religion, et dans lesquelles la réflexion l'avait confirmé, que Faraday n'a jamais été gêné ni par ses progrès personnels, ni par ceux d'autrui, dans le développement de sa pensée scientifique.

Depuis que le monde existe, disait-il, l'opinion n'a-t-elle pas toujours changé avec le progrès des choses ? Pourquoi en serait-il autrement désormais? Je ne crois pas que nous soyons en possession de la plus haute dose d'intelligence qui puisse sortir de la pensée humaine. Nos successeurs seront pour nous ce que nous sommes pour nos ancêtres. Nos corps remplacent leurs corps et nos pensées leurs pensées; nos descendants prendront, à leur tour, par de nouveaux corps et des pensées nouvelles, les places des nôtres. Ce qui l'étonnait le plus, c'était de voir des savants s'opposer au progrès par esprit de système et par une confiance aveugle dans les théories. Ils sont assis sur un trône aux pieds d'argile, disait-il; tant qu'il est debout, ils barrent le chemin; quand il s'est écroulé, ils l'obstruent.

En tout ce qui concerne les sciences, je n'ai jamais connu d'esprit plus libre, plus dégagé, plus hardi; c'est le résultat de la méthode expérimentale. Il ne croyait même pas à l'existence de la matière, loin de lui tout accorder; il ne voyait dans l'univers qu'une seule force obéissant à une seule volonté. Ce qu'on appèlle matière n'était à ses yeux qu'un assemblage de centres de force. Chose étrange assurément! Dans un autre pays, qui donne le pas volontiers à la méthode mathématique, et où certaines témérités sont légèrement portées, ce n'est pas sans difficulté qu'on se persuade, au contraire, que les vérités scientifiques n'ont pas reçu leur

dernière expression et qu'on peut y toucher sans sacrilége.

Cependant, douter des vérités humaines, c'est ouvrir la porte aux découvertes; en faire des articles de foi, c'est la fermer. Douter des vérités divines, c'est livrer sa vie aux hasards; y croire, c'est lui donner son lest. Telles étaient la conviction et la règle de Faraday.

C'est à regret qu'on se sépare de ce beau caractère, et comme son digne successeur, M. Tyndall, je termine cette esquisse par une comparaison empruntée à son enseignement populaire.

Faraday aimait à démontrer que l'eau a horreur des impuretés; qu'elle s'en dépouille par une foule de procédés, et que si l'on fait refroidir et congeler, par exemple, de l'eau trouble, colorée, salie, chargée de sels âcres ou amers, d'aigres acides ou d'alcalis cuisants, le glaçon qui se forme dans son sein, éloignant de lui les souillures, se dégage limpide, inodore, agréable au goût, blanc et brillant comme le cristal.

Ainsi avons-nous connu Faraday; aux prises avec les besoins, les tentations et les passions de la vie, il éloigna de bonne heure les mauvaises pensées, les sentiments égoïstes et les instincts vulgaires ou inférieurs, dégageant, de plus en plus, de l'argile terrestre, l'âme qu'il a rendue, enfin, à son Créateur, pure et sans tache.

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE.

INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE.

MÉMOIRE

SUR DES

PHÉNOMÈNES D'AFFINITÉS CAPILLAIRES

PAR M. E. CHEVREUL

Membre de l'Institut.

Lu dans la séance publique de l'Académie des Sciences du 9 juillet 1866.

Un grand nombre de phénomènes moléculaires sont produits par des forces auxquelles les chimistes et les physiciens ont donné peu d'attention en général.

Tels sont ceux qui se rattachent à un corps solide dont la forme ne paraît pas éprouver de changement par l'attraction d'un second corps, qui se présente au contact du premier à l'état liquide, à l'état de gaz, et même à ce qui semble à l'état solide : pour le premier cas, je rappelle la coloration des étoffes plongées dans des bains de teinture; pour le second, les corps poreux, tels que le charbon, le minéral dit



écume de mer, qui absorbent des gaz; et pour le troisième, l'aciération, s'il est vrai que le carbone s'unit à l'état solide avec le fer (1).

Une circonstance, sur laquelle j'ai insisté dans mes études sur l'histoire de la chimie, m'a toujours frappé : c'est le peu d'attention que généralement les chimistes ont donné jusqu'à Étienne-François Geoffroy (1718) à l'influence de la cause qui tient unies ensemble les molécules de la matière, soit qu'identiques, elles constituent une *simple agrégation*, soit que différentes, elles constituent une *combinaison*. En nommant Étienne-François Geoffroy je cite un chimiste, mais pour être exact, il ne faut pas omettre que l'année précédente (1717), un géomètre, le grand Newton, avait envisagé de la manière la plus générale l'influence de cette cause dans les phénomènes où les molécules semblent être au contact apparent, et qu'il l'avait signalée au monde savant sous le nom d'*attraction*, quelle qu'en soit la nature; et c'est parce qu'à mon sens la notion fondamentale de la chimie concerne l'union des molécules, et le phénomène si remarquable de l'expulsion d'un des principes d'un composé par un corps qui se substitue au principe expulsé en vertu d'une force qu'on a nommée *affinité élective*, que l'origine de la chimie, considérée comme science, doit être datée des travaux de Newton et d'Étienne-François Geoffroy (1717 et 1718).

---

(1) On trouve l'indication des principaux faits que j'ai rattachés à des affinités capillaires dans le neuvième mémoire de mes recherches chimiques sur la teinture, lu à l'Académie le 6 de juin 1853, imprimé dans le tome XXIV des *Mémoires de l'Académie*.

Il est incontestable que Stahl admettait implicitement une force équivalente ou analogue à l'*attraction moléculaire*, puisqu'il avait reconnu la nécessité de distinguer des composés de divers ordres, à savoir :

1° *Les mixtes*, formés par l'union immédiate des éléments ;

2° *Les corps composés*, formés de deux mixtes ;

3° *Les décomposés ou surcomposés* formés de deux composés ;

4° *Les surdécomposés*, formés d'un décomposé et d'un corps quelconque.

Mais, après avoir étudié les divers écrits et examiné comme je l'ai fait l'enchaînement des idées du fondateur de la doctrine du phlogistique, depuis la *fermentation* jusqu'à la *combustion*, il est clair que, pour lui, la transformation d'une matière fermentescible en divers produits résultait d'un *simple mouvement* déterminé par le ferment, en vertu duquel mouvement la matière analogue à ce ferment se trouvait isolée de la matière qui ne lui était pas analogue ; il est clair encore que, dans la combustion, l'air était la force motrice à laquelle le *phlogistique* du combustible devait le mouvement qui le rend à la fois chaud et lumineux, et, selon Stahl, toute matière autre que le phlogistique, par un *mouvement* VERTICILLAIRE ou de *tourbillon* (1), manifestait pareillement la chaleur et la lumière.

---

(1) *G.-E. Stahlii experimenta, observationes, animadversiones, CCC numero, chymicae et physicae.* (1731), page 63.

C'est le silence de Stahl sur l'attraction qui détermina Senac à publier, en 1723, UN NOUVEAU COURS DE CHIMIE *suivant les principes de Newton et de Sthall* (sic), ouvrage si mal jugé par les deux auteurs de l'article *Senac* de la biographie universelle de Michaud.

Bergman écrivit sur les affinités (1775) un livre fort remarquable. Sans se prononcer sur la nature de la pesanteur et de l'*attraction prochaine* qui régit les molécules, il fit remarquer qu'à la distance où se trouvent les astres les uns des autres, leur figure est sans influence sur les résultats, tandis que dans l'*attraction prochaine* des molécules, la figure de celles-ci et leur situation amènent de grandes variations dans les effets.

Enfin, à l'appui de ma manière d'envisager l'histoire de l'attraction moléculaire au point de vue chimique, je citerai le passage suivant du discours préliminaire du *Traité élémentaire de chimie* de l'immortel Lavoisier (1789).

« Cette loi rigoureuse, dont je n'ai pas dû m'écarter, de « ne rien conclure au-delà de ce que les expériences présen- « tent, et de ne jamais suppléer au silence des faits, ne m'a « *pas permis de comprendre dans cet ouvrage la partie de la* « *chimie la plus susceptible peut-être de devenir un jour une* « *science exacte ; c'est celle qui traite des affinités chimiques* « *ou attractions électives*. »

Ce que Lavoisier ne fit pas, Berthollet l'entreprit ; et la publication de la *Statique chimique* (1803) montra la profondeur de l'étude de l'*attraction moléculaire* envisagée dans toute sa généralité. A la vérité, si l'auteur méconnut le principe qui régit les combinaisons définies en considérant celles-ci comme des cas particuliers de l'affinité, et si

dans la discussion mémorable élevée à ce sujet par Proust, Berthollet n'eut pas l'honneur du triomphe, on ne peut, en se plaçant à un point de vue élevé, méconnaître ce qu'il y avait de hardiesse et d'originalité à envisager l'attraction moléculaire comme elle l'est dans la statique chimique. L'opinion que j'énonce est sincère, et en l'exprimant j'accomplis un acte de reconnaissance à l'égard d'un homme qui fut l'honneur de l'Académie et de la France, autant par son caractère que par son génie. En effet, la statique chimique est la source où j'ai puisé le goût des recherches relatives aux affinités et à la détermination des circonstances présidant aux différents arrangements que des molécules données sont susceptibles de prendre.

L'étude de la *Statique chimique* me conduisit à interpréter la loi de Berthollet concernant la décomposition mutuelle de deux solutions salines autrement qu'il ne l'avait fait. Selon lui, la *force de cohésion* était la cause de cette décomposition qui s'opère toutes les fois que l'acide et la base de deux sels en présence sont susceptibles de produire un composé moins soluble que ceux qu'ils constituaient avant le mélange. Cette explication, reposant sur une pétition de principe, fut rejetée par plusieurs chimistes, Vauquelin et Fourcroy entre autres; c'est ce qui me conduisit à attribuer la décomposition à l'*insolubilité* ou à la *solubilité moindre* du sel séparé : par là disparaissait l'objection que j'avais faite à l'intervention de la *force de cohésion*, objection reposant sur la remarque que la force de cohésion n'agissant que sur plusieurs molécules, on ne pouvait admettre, d'après la loi de continuité, qu'en mêlant seulement une molécule de sulfate de soude avec une molécule d'azotate de baryte il n'y aurait

pas de décomposition. Cette objection frappa tellement l'esprit de Ampère qu'il en fit l'objet d'une de ses leçons au collége de France. Enfin M. Berthollet, l'année même de sa mort, m'autorisa à dire qu'il avait adopté mon interprétation de la loi de la décomposition mutuelle des sels solubles.

L'étude de la statique chimique me dirigea encore dans les conclusions que je formulai sur la nature de l'*amer* découvert par Velter (*acide picrique*) et sur celle des tannins artificiels de Hatchett. Après avoir montré, contrairement à l'opinion de Velter, que son *amer* possède *essentiellement* la propriété détonante, et que celle-ci dépend d'un oxacide d'azote combiné de la manière la plus intime avec un carbure d'hydrogène d'origine organique, ainsi que cela a lieu pour les *tannins artificiels* de Hatchett, l'*oxyde de charbon* de Proust, et que l'acide sulfurique est pareillement combiné de la manière la plus *intime* à un carbure d'hydrogène dans un *tannin obtenu de la réaction du camphre et de l'acide sulfurique,* je conclus que la propriété de précipiter la gélatine appartient à des corps trop différents les uns des autres pour qu'on doive la considérer comme propre à caractériser une *espèce unique* de principe immédiat, et en outre que cette propriété de s'unir à la gélatine est concomitante non-seulement de la saveur astringente, mais encore de la saveur mixte astringente et sucrée des sels d'alumine, de glucine, etc., et même de la saveur amère, enfin que tous les corps doués de ces propriétés s'unissent aux matières azotées et les conservent. Ces conclusions, exposées dans trois mémoires lus à l'Académie en avril, juillet et août 1809, ont reçu la sanction du temps. Je rappellerai ici que, plus de vingt ans après cette publication, la présence d'un oxacide d'azote fut combattue par

M. Liebig dans l'*amer de Velter*, et par son élève, le docteur Buff dans *le corps* que, le premier, je décrivis sous le nom d'*amer au minimum*, et qu'on a appelé depuis *acide indigotique* (1).

Enfin je rappellerai que dans le neuvième Mémoire de mes recherches chimiques sur la teinture (lu à l'Académie le 6 de juin 1853), j'ai résumé toutes mes recherches sur l'affinité capillaire (2), avant d'exposer la méthode dont je me servis pour étudier d'abord l'affinité mutuelle de l'eau de chaux et des différents matériaux des mortiers, et pour déterminer ensuite les proportions suivant lesquelles des composés solubles, acides, alcalins et neutres s'unissent aux étoffes.

Les phénomènes d'action moléculaires que je vais faire connaître aujourd'hui à l'Académie sont la continuation des travaux dont je viens de rappeler les principales conclusions.

---

(1) *Annales de Chimie*, tomes LXXII et LXXIII, et *Notes historiques* sur la nature immédiate de l'amer de Velter et de l'amer au minimum (acide picrique et acide indigotique). Tome XXXIV des *Mémoires de l'Académie des sciences*.

(2) Tome XXIV des *Mémoires de l'Académie des sciences*, neuvième mémoire de mes *Recherches chimiques sur la Teinture...*, on y voit que, dès 1811, j'avais prouvé par l'expérience que le charbon se combine avec le sulfure de sodium, les bases, et l'acide chlorhydrique, en vertu de l'affinité chimique.

... Qu'en 1821, je parlai de l'*affinité capillaire* comme une cause de la coloration des étoffes teintes dans des bains où la matière colorante est en dissolution chimique... Enfin, dans ce neuvième Mémoire j'ai fait connaître une méthode précise pour savoir si un solide plongé dans un liquide qui ne le dissout pas, est capable d'enlever à ce liquide par affinité un corps qui s'y trouve en solution.

PREMIÈRE SÉRIE.

Je préparai, avec la céruse, le kaolin et une argile grise de Gentilly, deux sortes de pâtes, l'une avec de l'huile de lin, et l'autre avec de l'eau.

J'introduisis dans des tubes de $0^{m},016$ de diamètre intérieur, fermés à un bout, un volume de chacune des pâtes représentant 10 centimètres cubes; puis je recouvris les pâtes huileuses de 10 centimètres d'eau, et les pâtes aqueuses de 10 centimètres d'huile de lin.

N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.
Céruse........ } Huile de lin... } 10 c. c. Eau.......... 10 c. c.	Céruse....... } Eau.......... } 10 c. c. Huile de lin... 10 c. c.	Kaolin........ } Huile de lin... } 10 c. c. Eau.......... 10 c. c.	Kaolin........ } Eau.......... } 10 c. c. Huile de lin... 10 c. c.	Argile........ } Huile de lin... } 10 c. c. Eau.......... 10 c. c.	Argile........ } Eau.......... } 10 c. c. Huile de lin... 10 c. c.
APRÈS 2 JOURS.					
Effet : zéro.	Eau séparée. Huile absorbée.	Huile séparée, décolorée. Eau absorbée.	Effet : zéro.	Huile séparée, plus décolorée que n° 3. Eau absorbée.	Effet : zéro.
APRÈS 10 JOURS.					
Effet : zéro.	Effets ci-dessus augmentés. On incline le tube pour maintenir le contact de l'huile avec la pâte.	Effets ci-dessus augmentés. Pâte fendillée.	Effet : zéro.	Effets ci-dessus augmentés. Pâte fendillée.	Effet : zéro.
APRÈS 30 JOURS.					
La pâte avait pris du retrait, et cette contraction semblait expulser de l'huile qui avait été employée en excès; mais évidemment ce dernier effet ne pouvait être attribué à une absorption d'eau.	Plusieurs centimètres cubes d'eau séparés.	Effets ci-dessus très-augmentés.	Effet : zéro.	Effets ci-dessus plus augmentés que n° 3.	Effet : zéro.
APRÈS 60 JOURS.					
Effets ci-dessus un peu augmentés.	Effet ci-dessus augmenté.	La pâte était partagée par des couches d'huile stagnantes. On introduisit un fil de platine et on agita. Beaucoup d'huile gagna la partie supérieure de l'eau.	Effet : zéro.	La pâte était partagée par des couches d'huile stagnantes. On introduisit un fil de platine et on agita. Beaucoup d'huile gagna la partie supérieure.	Effet : zéro.

APRÈS 90 JOURS.					
Effets ci-dessus un peu augmentés.	Effet ci-dessus augmenté.	Effets augmentés.	Effet : zéro.	Effets augmentés.	Effet : zéro.
APRÈS 120 JOURS.					
Retrait de la pâte très-sensible. L'huile séparée n'était qu'en très-petite quantité, et presque tout adhérait à la pâte.	Pâte présentant deux grandes fentes perpendiculaires à l'axe du tube. La pâte surmontée de 3 centimètres cubes d'eau au moins. On introduit un fil de platine pour remuer la matière.	Je ne doute pas que la totalité de l'huile avait été séparée du kaolin au moyen de l'eau. L'huile était presque incolore.	Effet : zéro.	Je ne doute pas que la totalité de l'huile avait été séparée de l'argile au moyen de l'eau. L'huile était moins molle que l'huile n° 3, et je ne doute pas que l'argile avait agi pour l'épaissir. Parce qu'elle retenait de l'argile, elle semblait plus colorée que n° 3.	Effet zéro, sauf que l'huile était moins colorée que l'huile n° 4, ce qui est conforme à l'observation que l'huile séparée par l'eau de kaolin était moins décolorée que celle qui l'avait été de l'argile après un contact de deux jours.
APRÈS 150 JOURS.					
Contraction de la pâte égale à $\frac{1}{10}$ du volume primitif. Évidemment la contraction avait expulsé de l'huile : celle-ci était en grande partie adhérente à la surface de la pâte. Quelque trace de matière huileuse surmontait. Celle-ci renfermait quelques moisissures.	Évidemment beaucoup d'eau est séparée ; mais l'huile ayant été employée en excès, toute l'huile n'a pu être absorbée.	Les choses sont ce qu'elles étaient après 120 jours. L'huile séparée est toujours incolore.	Effet : zéro L'huile toujours colorée.	Les choses sont ce qu'elles étaient après 120 jours, sauf que l'huile séparée paraît plus épaisse.	Les choses sont ce qu'elles étaient après 120 jours. L'huile était toujours bien moins colorée que celle du n° 4.
APRÈS 180 JOURS.					
Comme ci-dessus.	Comme ci-dessus. Huile presque incolore.	Comme ci-dessus. Huile incolore, je ne pense pas qu'il en reste unie au kaolin.	Comme ci-dessus. L'huile est plus colorée que celles des n°s 2 et 6.	Comme ci-dessus. L'huile est en partie solidifiée et en partie visqueuse ; la coloration tient à de l'argile en suspension.	Comme ci-dessus. Huile bien moins colorée que l'huile n° 4.

DEUXIÈME SÉRIE.

La préparation des pâtes et leur mise en expérience furent absolument les mêmes que celles de la première série, sauf qu'au lieu d'huile de lin pure, j'employai de l'huile de lin siccative, qui était légèrement brune. La différence existant entre les deux huiles, c'est que la seconde est plus épaisse, plus siccative, c'est-à-dire plus apte à se sécher en absorbant l'oxygène de l'atmosphère que l'huile de lin pure.

N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.
Céruse……… } Huile de lin cuite. } 10 c. c. Eau………… 10 c. c.	Céruse……… } Eau………… } 10 c. c. Huile de lin cuite. 10 c. c.	Kaolin……… } Huile de lin cuite. } 10 c. c. Eau………… 10 c. c.	Kaolin……… } Eau………… } 10 c. c. Huile de lin cuite. 10 c. c.	Argile……… } Huile de lin cuite. } 10 c. c. Eau………… 10 c. c.	Argile……… } Eau………… } 10 c. c. Huile de lin cuite. 10 c. c.
APRÈS 2 JOURS.					
Effet : zéro.	Effet : zéro.	Pâte blanchie à sa surface par eau absorbée.	Effet : zéro.	Pâte blanchie à sa surface par eau absorbée.	Effet : zéro.
APRÈS 10 JOURS.					
Surface de la pâte colorée par de l'huile orangée qui se sépare en même temps que la matière semble prendre de retrait. Un peu d'huile à la surface de l'eau adhère au verre.	Eau commençant à se séparer de la pâte par l'imbibition de l'huile. On incline le tube pour maintenir le contact de l'huile avec la pâte.	Pâte à sa surface très-blanche.	Effet : zéro.	Blancheur un peu augmentée.	Effet : zéro.
APRÈS 30 JOURS.					
Coloration de la pâte augmentée, retrait sensible. L'huile adhérente au verre n'augmente pas.	Plusieurs centimètres cubes d'eau séparée.	Effets ci-dessus continuent.	Effet : zéro.	Effets ci-dessus augmentés. De l'huile apparaît au-dessus de la pâte.	Effet : zéro.
APRÈS 60 JOURS.					
Effets continuent.	Effets ci-dessus augmentés.	Effets ci-dessus continuent. Des gouttes d'huile apparaissent au-dessus de la pâte.	Effet : zéro.	Effets continuent. De l'huile couvre l'eau.	Effet : zéro.

APRÈS 90 JOURS.					
Effets continuent.	Effets ci-dessus augmentés.	Effets ci-dessus augmentés. De l'huile couvre l'eau.	Effet : zéro.	Effets continuent. Plus d'huile séparée que pour le n° 3.	Effet : zéro.
APRÈS 120 JOURS.					
Le retrait de la pâte est très-sensible. L'huile séparée par la contraction adhérente à la pâte. L'huile adhérente au vase à la surface de l'eau n'a pas augmenté.	Pâte présentant deux grandes fentes perpendiculaires à l'axe du tube. La pâte surmontée de plusieurs centimètres cubes d'eau. On introduit un fil de platine pour remuer la matière.	Le tiers de la pâte est blanchi par l'absorption de l'eau. De l'huile couvre l'eau.	L'huile n'a point agi sur la pâte, car il n'y a pas d'eau séparée.	Résultats tout à fait analogues à ceux du n° 3, seulement plus prononcés : plus d'eau absorbée et plus d'huile séparée.	L'huile n'a point agi sur la pâte, car il n'y a pas d'eau séparée.
APRÈS 150 JOURS.					
Contraction de la pâte au moins de $\frac{1}{10}$ du volume primitif. Huile séparée adhérente à la pâte, plus colorée que le n° 1 de la première série. Moins de matière huileuse peut-être à la surface de l'eau. Pas de moisissure comme dans le n° 1 de la première série.	Évidemment eau séparée et huile absorbée. La matière plus consistante que celle du n° 2 de la première série.	La blancheur de la pâte de kaolin a beaucoup augmenté par suite de l'absorption de l'eau et de l'huile colorée qui a été séparée. Beaucoup de fentes dans la pâte occupée par de l'huile séparée. La blancheur de la colonne terreuse est certainement de plus des $\frac{2}{3}$.	L'huile n'a pas agi sur la pâte. Une portion sensible s'est introduite entre le verre et la pâte. Une sorte de cristallisation ou de résinification est sur la pâte et au sommet de la colonne d'huile.	Effets précédents plus prononcés. Beaucoup d'huile séparée, moins colorée peut-être que l'huile du n° 4.	Comme ci-dessus.
APRÈS 180 JOURS.					
Comme ci-dessus.	Comme ci-dessus.	Comme ci-dessus avec augmentation d'effet. La plus grande partie de l'huile séparée plus dense que l'eau. La blancheur de la colonne terreuse est des $\frac{3}{4}$, ce qui prouve que toute l'huile n'a pas été expulsée.	Comme ci-dessus. L'huile encore fluide au-dessous de la pellicule supérieure faisant obturateur.	Effets précédents plus prononcés. Beaucoup d'huile séparée, plus d'huile légère et moins d'huile lourde que n° 3.	Comme ci-dessus. En définitive nulle action.

TROISIÈME SÉRIE.

Après avoir observé les phénomènes de la première et de la deuxième série, j'eus l'idée d'étudier les phénomènes dans un tube coudé A, contenant de l'eau ou de l'huile de lin pure. La branche horizontale était fermée par un bouchon que traversait un petit tube B de $0^{m},006$ de diamètre intérieur à l'extrémité en contact avec le liquide du tube coudé, et dont l'autre extrémité, effilée en bec courbé, était placée au-dessus d'un petit récipient de verre. Quand le tube coudé contenait de l'eau, le petit tube était rempli d'une pâte faite avec de l'huile de lin, et quand le tube coudé contenait de l'huile, le petit tube était rempli d'une pâte faite avec de l'eau.

N° 1. — TUBE A. Contenant de l'eau. TUBE B. Pâte de céruse et d'huile.	N° 2. — TUBE A. Contenant de l'huile. TUBE B. Pâte de céruse et d'eau.	N° 3. — TUBE A. Contenant de l'eau. TUBE B. Pâte de kaolin et d'huile.	N° 4. — TUBE A. Contenant de l'huile. TUBE B. Pâte de kaolin et d'eau.	N° 5. — TUBE A. Contenant de l'eau. TUBE B. Pâte d'argile et d'huile.	N° 6. — TUBE A. Contenant de l'huile. TUBE B. Pâte d'argile et d'eau.
APRÈS 2 JOURS.					
Effet : zéro.	Effet : zéro.	Gouttes d'huile dans l'eau du grand tube A.	Pas d'eau séparée dans le grand tube A. Goutte d'huile à l'orifice du bec du petit tube B.	Gouttes d'huile dans l'eau du grand tube A.	Pas d'eau séparée dans le grand tube A. Goutte d'huile à l'orifice du bec du petit tube B.
APRÈS 25 JOURS.					
Retrait sensible de la pâte dans le petit tube B.	Effet : zéro.	Huile augmentée dans le tube A. Goutte d'huile au bec du petit tube B.	Goutte d'huile au bec du petit tube B.	Huile augmentée dans le tube A. Il n'y a qu'une goutte d'huile dans le récipient.	Goutte d'huile au bec du petit tube B. Elle tombe dans le récipient.
APRÈS 30 JOURS.					
Retrait de la pâte augmenté dans le petit tube B.	Effet : zéro.	Effets ci-dessus continuent.	Effets ci-dessus continuent. Huile dans le récipient.	L'huile commence à sécher au bec du petit tube et l'écoulement cesse.	Effet ci-dessus continuent.

APRÈS 60 JOURS.					
	Effet : zéro.	Effets ci-dessus continuent. L'huile à l'orifice du bec du petit tube B commence à sécher. Huile dans le récipient.	Effets continuent.	L'huile séchée au bec du tube 3 forme une sorte de champignon. Il grossit et il ne s'écoule plus rien dans le récipient.	Effets continuent.
APRÈS 90 JOURS.					
	Effet : zéro.	Effets ci-dessus continuent.	Effets continuent.		Effets continuent.
APRÈS 110 JOURS.					
L'orifice du bec du petit tube *B* ne tachait pas un papier qu'on appliquait contre.	L'orifice du bec du petit tube B tachait très-légèrement d'huile le papier qu'on appliquait contre, mais il n'y avait pas de goutte. La tache ne présentait qu'un trait circulaire.	Huile à l'orifice du bec du petit tube B *solidifiée*. $\frac{1}{2}$ centimètre cube environ d'huile dans le récipient s'y est solidifiée peu à peu.	Huile à l'orifice du bec du petit tube B liquide. L'huile recueillie dans le récipient plus considérable que dans le récipient du n° 3. Elle est épaisse sans être solidifiée.	Huile à l'orifice du bec du petit tube B *solidifiée*, bien plus considérable que pour le n° 3. A peine si une gouttelette d'huile a gagné le récipient.	Huile à l'orifice du bec du petit tube B liquide. Il y a plus d'huile dans le récipient que dans tout autre. Cette huile est liquide et décolorée. On a remis de l'huile dans le tube A.
APRÈS 150 JOURS.					
L'orifice du bec du petit tube B ne tachait pas un papier qu'on y appliquait.	L'orifice du bec du petit tube B tachait d'un trait circulaire le papier que l'on pressait contre. Il n'y avait pas d'eau. L'huile du tube A était très-colorée encore, quoique moins qu'elle ne l'était précédemment.	Huile à l'orifice du tube B solidifiée. Beaucoup d'huile séparée dans le tube A', en partie décolorée, concrète.	Huile à l'orifice du petit tube B, fluide et coulant lentement. Huile du tube A décolorée. Point d'eau séparée.	Huile à l'orifice du petit tube B *solidifiée*, bien plus considérable que pour le tube n° 3. Une portion du cylindre terreux a été repoussée en dehors dans le tube A. Huile du tube A décolorée et matière concrète blanche, d'aspect membraneux, bien plus abondante que le n° 3.	Le passage de l'huile du tube A a toujours lieu par le petit tube sans qu'il y ait séparation d'eau.
APRÈS 180 JOURS.					
Comme ci-dessus. Rien absolument, rien de separé.	Comme ci-dessus. L'huile du tube A toujours colorée. Quelques gouttelettes d'eau blanchies par de la céruse séparées par de la pâte aqueuse par l'huile, étaient dans celle-ci.	Huile à l'orifice du tube B solidifiée. $\frac{1}{2}$ centimètre cube d'huile comme crispée dans le récipient. Toute l'huile dans le tube A changée en pellicules d'apparence membraneuse blanche.	Comme ci-dessus, sauf qu'il ne coule plus d'huile dans ce récipient. Huile du récipient représentant 2c,5, prise en masse transparente, légèrement citrine.	Effets ci-dessus augmentés. Dans le récipient, gouttelette solidifiée semblable d'aspect au n° 3.	Comme ci-dessus. En définitive pas de séparation d'eau.

CONCLUSIONS.

Indépendamment de l'idée qu'on peut se faire de l'action de l'huile de lin et de l'eau sur la céruse, le kaolin et l'argile, il existe un phénomène d'*attraction élective* entre les aptitudes respectives de ces liquides pour les matières solides prises à l'état pulvérulent que je viens de citer. Je nommerai ce phénomène *affinité capillaire élective* pour le distinguer des phénomènes que présentent des actions moléculaires beaucoup plus énergiques et dont les résultats sont toujours soumis à des proportions définies.

L'huile de lin pure a plus d'*affinité capillaire* pour la céruse que n'en a l'eau, puisque l'eau n'expulse pas l'huile de lin unie à la céruse pour en prendre la place, tandis que l'huile expulse l'eau unie à la céruse et s'y substitue.

L'eau, au contraire, a plus d'*affinité capillaire* pour le kaolin et l'argile que n'en a l'huile, puisque l'eau expulse l'huile

de lin unie au kaolin et à l'argile, tandis que l'huile de lin n'expulse pas l'eau unie à ces deux matières terreuses.

Ces résultats sont précis, car chacun d'eux a son contrôle conformément au principe de la *Méthode* A POSTERIORI *expérimentale.*

APPLICATION.

LES APPLICATIONS DE CES EXPÉRIENCES SONT NOMBREUSES ET VARIÉES.

Ces expériences rendent compte de la difficulté qu'on éprouve toutes les fois qu'on applique des *enduits* dits *hydrofuges* sur des murs dont les matériaux sont perméables à l'eau. Évidemment l'affinité de ce liquide pour ces matériaux tendant incessamment à se mettre en équilibre dans ceux-ci, agit pour détacher l'enduit dépourvu d'affinité, ou s'il en a une, elle est bien inférieure à celle de l'eau.

Quand il s'agit d'un enduit *gras ou résineux* appliqué sur un mur qui n'étant pas de fondation n'est pas incessamment pénétré d'eau souterraine, mais exposé à des variations de température et à des variations d'humidité atmosphérique, on peut se demander si, à cause de ces variations, la partie du mur pénétrée de l'enduit n'est pas plus exposée à se détacher de la partie non enduite que ne l'eût été la première partie non pénétrée de *matière grasse ou résineuse*.

Le retrait qu'éprouve avec le temps la pâte de céruse et

d'huile explique très-bien la condition d'un bon mortier; évidemment pour que celui-ci remplisse son objet, il ne doit pas cesser d'adhérer aux surfaces qu'il doit relier, en même temps qu'il ne doit pas se gercer. Or, si le ciment de Dihl a l'avantage de se durcir, il a le grave inconvénient de se détacher des surfaces de grès ou de calcaire auxquelles on l'a appliqué, évidemment il se contracte alors comme la pâte de céruse et d'huile. Conséquemment, la bonne qualité du mortier est de se durcir sans cesser d'adhérer aux surfaces sur lesquelles on l'a appliqué.

Si la filtration de l'huile de lin pure dans la troisième série d'expériences à travers les pâtes aqueuses de kaolin et d'argile qui s'opère sans déplacement d'eau démontre clairement la supériorité d'affinité élective de l'eau, eu égard à l'affinité de l'huile pour ces matières terreuses, avant l'expérience, il eût été difficile de la prévoir, surtout après avoir observé que la pâte de céruse et d'huile est imperméable à l'eau, comme la pâte de céruse et d'eau est impénétrable à l'huile. Cette perméabilité à l'huile d'une pâte de kaolin ou d'argile et d'eau, qui semble indépendante de l'affinité élective du solide pour ce liquide, est encore un fait imprévu qui désormais ne devra jamais être perdu de vue dans le cas où deux corps solides sont en présence de deux liquides.

Ces faits montrent clairement la difficulté de trouver des enduits pour les murs, et encore des enduits ou enveloppes imperméables propres à prévenir l'altération de solides qui doivent rester plongés dans des liquides susceptibles de produire cette altération. Aussi lorsque plusieurs personnes me consultèrent sur les meilleures dispositions à prendre pour préserver les câbles métalliques plongés dans l'eau de mer,

insistai-je sur les inconvénients des enveloppes de ligneux imprégnés de corps gras ou résineux, ou des enveloppes susceptibles de se gercer, comme celle de gutta-perka et même de caoutchouc vulcanisé par le soufre. Ajoutons néanmoins que des fils de fer, parties du câble, qui, par une cause quelconque, viendraient à se briser et à se redresser pourraient exercer des dégâts au dehors sur l'enveloppe protectrice du câble. En définitive, les expériences que je viens de décrire montrent de la manière la plus claire que la moindre gerçure a une influence considérable sur la conservation du câble.

Mais une observation à mon sens bien remarquable par les inductions que, sans hésitation, j'en déduis, est la *disposition à se concréter par l'absorption de l'oxygène atmosphérique* que les huiles de la troisième série d'expériences ont manifestée après avoir été séparées par l'eau des pâtes huileuses de kaolin et d'argile surtout, nº 5. C'est à peine si le volume de l'huile recueillie dans le récipient nº 3 s'élevait à $\frac{1}{2}$ centimètre; en outre une goutte solidifiée obstruait l'orifice du bec du petit tube B. Enfin une seule goutte complétement concrète se trouvait dans le récipient du nº 5, et des champignons formés de plusieurs gouttes concrétées fermaient l'orifice du bec du petit tube B.

Avant de donner les inductions déduites de ces faits, rappelons encore les résultats des expériences des nºˢ 4 et 6. L'huile recueillie dans le récipient du nº 4 occupait un volume d'environ 1 centimètre, elle était visqueuse, très-légèrement colorée relativement à celle du grand tube A. L'orifice du petit tube B n'était point obstrué : l'huile recueillie dans le récipient nº 6 y occupait un volume de 8 centimètres,

elle était presque blanche, et parfaitement liquide, et l'huile du grand tube A presque blanche, mais différant beaucoup de celle du grand tube A n° 4.

Évidemment l'huile expulsée par l'eau des pâtes huileuses de kaolin, et surtout de l'argile, possédait une disposition à se concréter par absorption d'oxygène que ne possédait point au même degré l'huile qui avait filtré simplement au travers des pâtes aqueuses de kaolin et d'argile : conséquemment l'*huile tenait cette supériorité de propriété siccative de la matière terreuse à laquelle elle avait été unie.*

Cette conclusion est en parfait accord avec les faits que j'ai consignés dans un Mémoire sur la peinture à l'huile, présenté à l'Académie le 8 de juin 1850 et imprimé dans le XXII[e] volume de ses Mémoires. Effectivement, j'ai montré que des surfaces solides ont une influence marquée sur l'aptitude qu'a une couche d'huile de lin pure étendue sur ces surfaces, relativement au temps nécessaire à ce qu'elle s'y *sèche* ou s'y *solidifie* par oxygénation.

Sur une feuille de plomb décapée, elle est *sèche* après treize heures, et parfaitement sèche après vingt-quatre heures.

Sur la porcelaine vernissée, elle est fraîche encore après vingt-quatre heures, et sèche après quarante-huit heures.

Sur le bois de chêne, elle ne commence à prendre qu'après trente et un jours, et elle demande encore trois jours pour qu'elle soit sèche à la surface seulement.

La conclusion de ces faits est donc qu'il existe des solides capables, comme le plomb, par leur contact, d'accélérer la *dessiccation* des huiles, tandis que d'autres, comme le bois de chêne, la retardent ; incontestablement entre ces corps il y en

a d'autres dont les aptitudes sont intermédiaires, et parmi lesquels il en est de *neutres* ou d'*indifférents*.

Plusieurs fois déjà j'ai eu l'occasion, à la Société d'agriculture, d'exposer les inductions que je déduis de ces expériences sur l'influence que les matières terreuses des sols arables exercent sur les engrais (1)... « Car le grand avantage « d'enfouir les engrais odorants à l'état frais, c'est de péné- « trer toutes les parties du sol qui peuvent recevoir les éma- « nations des matières que les plantes s'assimileront plus « tard, et il est rigoureusement vrai de dire qu'une terre « bien meuble dans laquelle on répand ces sortes d'engrais « doit être considérée comme un corps poreux désinfectant. » Les engrais, à ce point de vue, s'unissent en tout ou en partie à la matière terreuse du sol arable par affinité capillaire; et des expériences précitées on induit la conséquence, en prenant en considération l'engrais, le sol, la nature des eaux naturelles, la nature et la température de l'atmosphère, que le même engrais, dans des circonstances différentes, relatives au sol, aux eaux et à l'atmosphère, peut présenter des résultats fort différents, relativement à ce qu'il est susceptible de céder de matière alimentaire à la plante cultivée dans un sol. Cette proposition est parfaitement justifiée par mes expériences et l'emploi comme engrais d'os pourvus de leur graisse et des tourteaux de graines oléagineuses qui ont été soumises à la presse après avoir été écrasées.

Lorsque Dutrochet me communiqua ses premières expériences sur l'endosmose, je lui exprimai le désir qu'il en fît

(1) Voir surtout : *Comptes rendus,* tome VI, 2e série, page 249 (années 1850 et 1851).

d'analogues à celles de la troisième série de ce mémoire, parce qu'une membrane étant perméable à des liquides, l'affinité capillaire d'un grand nombre de corps, et particulièrement de corps poreux, me semblait devoir agir pour produire des effets analogues à ceux dont je viens de parler, et, dès cette époque, j'avais observé un certain nombre de phénomènes de l'ordre de ceux que M. Graham a si bien étudiés. Enfin, plus tard, la lecture d'un Mémoire *sur les concrétions et les incrustations minérales des végétaux*, dans lequel l'auteur, M. Payen, décrivait des cristaux d'oxalate de chaux, sel signalé par Scheele, dès 1786, dans les végétaux, et si remarquable par son insolubilité dans l'eau, me suggéra quelques remarques relatives aux circonstances de sa formation et de sa cristallisation que je puis aujourd'hui formuler ainsi. Un oxalate soluble de potasse, de soude, et même d'ammoniaque en solution dans la séve, ou tout autre liquide végétal, venant à traverser très-lentement la paroi d'une cellule ou d'un vaisseau, arrive dans une cavité où il trouve un suc tenant un sel calcaire en solution; alors il se fait de l'oxalate de chaux, et cette production étant très-lente, les molécules insolubles peuvent prendre la forme régulière qui leur est propre. Cette interprétation me paraît applicable à la formation d'un grand nombre de sels insolubles que l'on signale dans les êtres vivants.

Je terminerai ce Mémoire par l'explication que j'ai conçue depuis longtemps de la pétrification des corps organisés.

Un liquide tenant une substance minérale pénètre dans les pores et les interstices d'un corps organisé; pour exemple, je suppose de l'eau tenant un sel de protoxyde de fer en solution pénétrant dans un tronc d'arbre : le sel peut s'unir

intégralement avec le ligneux, et parce que celui-ci contient généralement de l'acide tannique ou gallique, l'oxyde de fer quitte l'acide auquel il était uni, il absorbe de l'oxygène en devenant sesquioxyde, si le milieu où l'action se passe renferme de l'oxygène libre. En un mot, toute la surface interne des cellules et des vaisseaux où la solution ferrugineuse a passé présente une couche de tannate ou de gallate de fer, même de sesquioxyde uni au ligneux et en en affectant la forme. Voilà ce qui se passe d'abord. A la longue, de nouvelles quantités de liquide ferrugineux pénètrent, et enfin il arrive, après une action toujours lente, que la matière d'origine organique disparaît, et que l'espace qu'elle occupait reste vide, s'il ne se remplit pas peu à peu de nouveau liquide minéral. On conçoit donc de cette manière que la structure du bois sera plus ou moins bien conservée, puisque c'est toujours dans des cavités dont les parois ne cessent pas, tant qu'elles existent, de présenter exactement la structure que la vie leur avait donnée; en outre, on conçoit que si tous les vides ayant été remplis et la matière organique conservée, il arrive que celle-ci disparaisse parce qu'elle est de nature altérable, de nouveaux vides se produiront et de nouvelle matière minérale pourra s'y déposer. En ce cas, la pétrification sera complète. Ce que je dis d'un sel ferrugineux est applicable à tout autre sel capable de laisser une matière solide dans le corps organique qu'il pénètre.

FIN.

EXAMEN CRITIQUE

AU POINT DE VUE

DE L'HISTOIRE DE LA CHIMIE

D'UN ÉCRIT ALCHIMIQUE INTITULÉ

ARTEFII CLAVIS MAJORIS SAPIENTIÆ

ET PREUVE QUE CET ÉCRIT EST IDENTIQUE AVEC L'ÉCRIT PUBLIÉ

SOUS LE NOM D'ALPHONSE X

ROI DE CASTILLE ET DE LÉON

AUQUEL L'ASTRONOMIE DOIT

LES TABLES ALPHONSINES.

INTRODUCTION.

1. Il existe un écrit alchimique intitulé: *Artefii clavis majoris sapientiæ.*

Artefius, auquel on l'attribue, probablement d'origine arabe, passait pour *adepte,* c'est-à-dire qu'on lui accordait la faculté d'opérer la transmutation, et, sur sa parole, les alchimistes croyaient que, grâce à un élixir de sa composition, sa vie avait dépassé mille ans.

On le fait vivre au XIIe siècle, parce qu'il cite Avicenne,



qui florissait au XI[e] siècle, et qu'à son tour il est cité par R. Bacon, qui vécut de 1214 à 1292.

Il est encore auteur d'un livre sur la *pierre philosophale* (*).

Dans ces derniers temps (mars 1867), j'ai constaté que le traité attribué à Alphonse X, roi de Castille et de Léon, le fils de Ferdinand le Saint, portant le titre de *Clavis sapientiæ*, imprimé dans le volume V, page 766, du *Theatrum chemicum,* est identique au traité *Artefii clavis majoris sapientiæ*. J'en donnerai la preuve plus loin (5[e] section, 61 à 64).

2. En lisant la *Clef de la plus grande sagesse d'Artefius*, il y a une vingtaine d'années, je fis un certain nombre de remarques qui me semblent bien en arrière de l'importance que je reconnais aujourd'hui à cet ouvrage, envisagé dans ses rapports avec l'histoire des sciences occultes en général et de l'alchimie en particulier. Ce que dit Artefius de la matière à partir de sa création par Dieu, jusqu'à ce qu'elle constituera les métaux, les minéraux, les plantes et les animaux, a le plus grand intérêt, quant à la *transmutation* d'abord, puis à la *distribution des connaissances du domaine de la philosophie naturelle*, pour peu qu'on prenne intérêt à suivre l'esprit de l'homme, partant du *concret* avec l'intention d'en étudier les propriétés, les attributs, les rapports, au point de vue de l'*abstrait*. La transmutation, telle que l'envisage Artefius, est une conséquence de ses idées sur la nature de la matière. Aucun ouvrage, à ma connaissance, ne parle aussi clairement que la *Clef de la plus grande sagesse* de l'influence prétendue

(*) *Artephii, antiquissimi philosophi, de arte occulta atque lapide philosophorum liber secretus.*



des astres sur les corps terrestres, et n'en développe plus simplement l'effet en le rattachant au *principe des semblables*, qui, selon lui, préside à l'union de toutes choses. C'est donc la clarté avec laquelle Artefius expose un ensemble d'idées, comprenant les questions les plus générales comme les plus mystérieuses de l'homme, qui m'a fait attacher tant d'importance à l'examen de son écrit, surtout avec l'intention formelle que j'ai de montrer à mes lecteurs, dans l'étude des choses accessibles aux raisonnements fondés sur l'observation et l'expérience, l'extrême différence du résultat de la *méthode* A PRIORI d'avec celui de la *méthode* A POSTERIORI *expérimentale*.

VOICI LES DIVISIONS DE LA MATIÈRE DE CET ÉCRIT.

PREMIÈRE SECTION.

Création du monde matériel.

CHAPITRE I[er].

Création de la matière.

CHAPITRE II.

Création de la lumière et distinction de quatre genres de natures.

Article 1[er]. — 1 genre de nature, le simple ;
Article 2. — 2 — — le simple du simple;
Article 3. — 3 — — le composé du simple;
Article 4. — 4 — — le composé du composé.

DEUXIÈME SECTION.

Examen comparatif des idées d'Artefius émanées de la *Méthode à* PRIORI avec les idées des sciences physico-chimiques, expressions de la *Méthode à* POSTERIORI *expérimentale.*

TROISIÈME SECTION.

Influences astrales sur la matière terrestre suivant Artefius.

QUATRIÈME SECTION.

Génération des corps terrestres suivant Artefius.

CHAPITRE I[er].

Génération des corps inorganiques.

CHAPITRE II.

Génération des plantes.

CHAPITRE III.

Génération des animaux.

CINQUIÈME SECTION.

La *Clef de la sagesse* (*Clavis sapientiæ*), qui porte le nom d'Alphonse X, roi de Castille, est le même ouvrage que la *Clef de la plus grande sagesse* d'Artefius.

SIXIÈME SECTION.

Comparaison de diverses opinions d'Artefius avec celles de plusieurs alchimistes et philosophes.

CHAPITRE Ier.

Comparaison de diverses opinions d'Artefius avec celles de plusieurs alchimistes.

Articles 1, 2, 3, 4 : Geber, Avicenne, Aristoteles (pseudo), et Bernard le Trevisan.

CHAPITRE II.

Rapports de quelques opinions d'Artefius avec celles de Platon et d'Aristote.

EXAMEN CRITIQUE

AU POINT DE VUE

DE L'HISTOIRE DE LA CHIMIE

D'UN ÉCRIT ALCHIMIQUE INTITULÉ

ARTEFII CLAVIS MAJORIS SAPIENTIÆ

ET PREUVE QUE CET ÉCRIT EST IDENTIQUE AVEC L'ÉCRIT PUBLIÉ

SOUS LE NOM D'ALPHONSE X

ROI DE CASTILLE ET DE LÉON

AUQUEL L'ASTRONOMIE DOIT

LES TABLES ALPHONSINES.

Présenté à l'Académie des Sciences le 2 d'avril 1867

PAR M. CHEVREUL.

PREMIÈRE SECTION.

CRÉATION DU MONDE MATÉRIEL

CHAPITRE PREMIER

CRÉATION DE LA MATIÈRE.

3. Artefius admet la création d'une matière première; il cite les opinions d'Aristote et de Platon comme conformes à la sienne. Il parle en ces termes de la *matière première* créée

par Dieu avant toute chose : « Absolument *passive* ou simplement *réceptacle* (*receptivum*), *elle n'est ni grande ni petite, ni subtile ni épaisse, ni mobile ni pouvant être en repos;* elle ne doit pas *être définie par un nom,* ni *assimilée à aucune chose;* mais *elle est apte à recevoir toutes les propriétés imaginables.* » Voilà l'exemple le plus frappant de l'abus auquel la *méthode* A PRIORI peut conduire, pour peu qu'on veuille en développer les conséquences, comparativement avec les avantages de la *méthode* A POSTERIORI *expérimentale*, lorsque celle-ci procède, avec la rigueur de son esprit, à l'étude des corps dont elle cherche à connaître toutes les propriétés que l'homme peut savoir, dans le double intérêt de la science pure et des applications de cette science pure, si féconde pour le développement de la société humaine!

Je n'examinerai pas maintenant si Platon et Aristote ont émis une même opinion sur la matière, et si l'opinion admise par Artefius sur la matière première est d'accord avec celle des deux philosophes grecs, puisque je consacrerai à cet examen le chapitre II de la 6e section de cet écrit.

4. La passivité, aussi absolue qu'on peut la concevoir, attribuée à la matière première, est évidemment la cause pour laquelle un grand nombre de savants, livrés à la culture de sciences diverses, ont admis, à la vérité à des degrés fort différents, la passivité de la matière. Mais, sans entrer dans des détails, je me bornerai à citer l'opinion de Van Helmont relativement à la nature de la matière, qu'il réduit à deux sortes, l'*eau* et l'*air*, absolument privées d'activité.

La *première* compose tous les corps pondérables, *productions seminales*. La diversité des archées auxquelles l'eau est unie donne la cause de la diversité des espèces chimiques.

Les *archées* font partie des *principes-esprits* de Van Helmont.

L'*air*, passif comme l'eau, doit son élasticité au *magnale*, être neutre intermédiaire entre la *substance* et l'*accident*, d'après Van Helmont (*).

CHAPITRE II.

CRÉATION DE LA LUMIÈRE ET DISTINCTION DE QUATRE GENRES DE NATURES.

5. Après la MATIÈRE PREMIÈRE, *dénuée de toute propriété*, Dieu créa la *lumière*, et de ces deux créations vinrent la *chaleur* et le *mouvement*, puis apparurent la *froidure* et la *siccité ;* enfin Artefius admet que 1 partie de *chaleur* et 1 partie de *froidure* ont produit l'*humidité*.

Avec ces données, il nous sera facile de suivre la manière dont l'auteur conçoit la formation de toutes les choses du monde.

6. Il divise la nature en QUATRE GENRES :

1. Le *simple ;*
2. Le *simple du simple ;*
3. Le *composé du simple ;*
4. Le *composé du composé.*

Je ne connais aucune distinction analogue à celles-là dans les écrits alchimiques. Après les avoir définies selon l'au-

(*) *Journal des Savants*, article de M. Chevreul, année 1850, p. 74 et 136.



teur, il me sera facile, je crois, de montrer comment on peut s'en représenter la conception, en partant des idées auxquelles je faisais allusion tout à l'heure en parlant de ma distribution des connaissances humaines au double point de vue du *concret* et de l'*abstrait* (2).

ARTICLE 1er.

1er GENRE, le *simple*.

7. Le simple comprend *deux natures :*

L'une, *active,* est la nature de la *chaleur* (*caloris*) ;

L'autre, *passive,* est celle de la *froidure* (*frigiditatis*).

Ces distinctions, abstraites au plus haut degré, sont, dans l'esprit d'Artefius, contraires ou opposées, et, bien évidemment, sans que la seconde soit l'effet de la première.

En réalité, elles ne sont qu'une même propriété, la température à degrés inégaux d'énergie, c'est-à-dire une propriété unique, considérée relativement à elle-même.

Et, sous ce rapport, la chaleur et la froidure diffèrent des deux électricités, des deux magnétismes, qui sont actifs, mutuellement capables de se neutraliser, et dès lors *corrélatifs*, et non simplement *relatifs,* comme la chaleur et le froid (*).

ARTICLE 2.

2e GENRE de nature, le *simple du simple*.

8. Puisque Artefius a admis deux idées dans le simple, celles de l'*actif* et du *passif*, il y a quelque chose de moins

---

(*) *Dictionnaire des sciences naturelles*, tome X, p. 513 (1818).

complexe : c'est l'unité, ou ce qu'il appelle le *simple du simple*.

A savoir :

1. La nature de la *chaleur* (*caloris*) ;
2. La nature de la *froidure* (*frigiditatis*) ;
3. La nature de l'*humidité* (*humiditatis*) ;
4. La nature de la *siccité* (*siccitatis*).

9. En réalité, ainsi que nous allons le voir, il n'y en aurait que trois, puisque Artefius va considérer l'*humidité* comme le produit de la réunion de la *chaleur* avec la *froidure ;* conformément à cette remarque, la véritable signification des quatre natures d'Artefius est exprimée dans le tableau suivant :

Natures simples.	
1. Nature de la *chaleur ;*	*active.*
2. Nature de la *froidure ;*	*non active* ou *passive.*
3. Nature de la *siccité,*	*plus que passive,* puisque, Artefius la définissant l'absence de toute humidité, elle devient une *pure négation.*
Appendice. *Nature binaire.*	
1. Nature de l'*humidité*	formée de parties égales de *chaleur* et de *froidure ;* elle n'est pas simple, mais binaire, et en outre elle n'est *active* que par sa *chaleur*, résultat conforme au PREMIER GENRE de *nature* d'Artefius, dans lequel il ne parle que de la chaleur pour être essentiellement active (7).

Ces raisonnements, déduits rigoureusement des idées d'Artefius, me serviront de base, lorsque, revenant sur le *concret* et l'*abstrait,* afin d'exposer clairement le système de ces idées, j'aurai examiné ce que l'écrivain alchimiste dit du 3e GENRE de *nature,* le *composé du simple.*

ARTICLE 3.

3e GENRE *de nature*, le *composé du simple*.

10. Ce genre comprend les quatre éléments : le *feu*, l'*air*, l'*eau* et la *terre*.

Les noms des quatre éléments se rapportent au *concret* dans la plupart des écrits des philosophes, des savants, des alchimistes, lors même qu'ils ne comprennent, dans les écrits de ceux qui les emploient, qu'une ou quelques-unes seulement des propriétés par lesquelles on caractérise chacun de ces éléments, soit qu'on les considère comme représentant les quatre états d'agrégation de la matière, le *feu* représentant l'*état éthéré*, l'*air* l'*état de fluide aériforme élastique* l'*eau* l'*état liquide*, et la *terre* l'*état solide ;* soit même qu'on les caractérise respectivement, le *feu* et l'*air* par la *chaleur* et la *froidure*, l'*eau* et la *terre* par l'*humidité*, et la *sécheresse* ou *siccité*.

11. Eh bien ! la manière dont Artefius envisage les quatre éléments diffère absolument de celles que je viens de rappeler. L'idée qui prédomine sur toutes les autres est, selon lui, l'indifférence de la matière à affecter telle ou telle propriété, parce qu'en définitive, étant *une*, elle doit les propriétés diverses sous lesquelles elle se montre dans des circonstances déterminées à des influences diverses exercées par des causes agissant en dehors d'elle-même. Et, comme nous allons le voir, cette idée conduit immédiatement à admettre en fait la transmutation de tous les corps sublunaires les uns dans les autres, ainsi que les *influences astrales* sur ces mêmes corps, de sorte qu'il n'existe aucun écrit alchimique, comme je l'ai

dit (2), qui soit comparable à la *Clef de la plus grande sagesse,* relativement à l'intimité de la vue spéculative, qu'il expose au degré le plus élevé de l'abstraction, avec l'application spéciale à la *transmutation* et aux *influences astrales* sur les corps sublunaires.

12. Avant de parler de la formation ou de la composition des quatre éléments, disons que le *principe fondamental de toute* UNION, mot dans lequel nous comprenons ce qu'on appelle aujourd'hui la *combinaison chimique*, est pour Artefius la SIMILITUDE *des choses qui s'unissent;* de sorte qu'il n'admet l'union des extrêmes ou des contraires qu'à la condition d'un intermédiaire. Mais signalons dès à présent une *pétition de principe* dans le système d'idées d'Artefius, quand il a imaginé, pour unir la *chaleur* avec son contraire, la *froidure*, comme je l'ai dit plus haut (9), une chose intermédiaire, l'*humidité*, formée de parties égales de *chaleur* et de *froidure;* car si l'*humidité* a cette origine, pourquoi dire que les extrêmes, chaleur et froidure, ne peuvent s'unir sans un intermédiaire? Et si cette union est possible, comment admettre que la nouvelle *chaleur* et la nouvelle *froidure* en présence ne reproduiront pas de l'*humidité?* Ou, en d'autres termes, comment distinguer de l'*humidité* la *chaleur et la froidure existant ensemble,* si à parties égales elles forment de l'humidité? Car, d'après Artefius, chaleur et froidure, en proportions diverses, présenteront les résultats suivants :

1 chaleur + 1 froidure = humidité.

1 chaleur + 2 froidure = humidité + 1 froidure.

2 chaleur + 1 froidure = humidité + 1 chaleur.

Il ne pourra donc y avoir (chaleur + froidure) + (humidité), mais seulement (humidité) + chaleur ou + froidure.

13. L'élément *feu* se compose de *chaleur* et de *siccité,* unis en proportion égale avec de la *chaleur* et de l'*humidité*, laquelle, comme nous l'avons vu, est formée de parties égales de *chaleur* et de *froidure.*

L'élément *feu* contient donc les quatre natures du *simple du simplé.*

L'élément *air* est représenté par la composition du *feu*, plus de l'*humidité.*

L'élément *eau* est représenté par la composition de l'*air*, plus de la *froidure* et de l'*humidité.*

L'élément *terre* est représenté par la composition de l'*eau*, plus de la *froidure* et de la *siccité.*

En définitive, les quatre éléments sont formés chacun des mêmes natures; seulement ils diffèrent par des proportions différentes de ces mêmes natures.

14. Les éléments, étant formés des mêmes natures, sont non-seulement susceptibles de s'unir ensemble conformément au *principe des semblables* (2), mais encore de se transmuer l'un dans l'autre. Et l'on conçoit, conformément à la théorie d'Artefius, la force et l'exactitude des expressions suivantes :

Le *feu* est un *air subtil ;*

L'*air* est un *feu épais* ou une *eau subtile ;*

L'*eau* est un *air épais* ou une *terre subtile ;*

Et la *terre* est une *eau épaisse.*

ARTICLE 4.

4e GENRE DE NATURE, le *composé du composé.*

15. Qu'est-ce que le *composé du composé?*
Ce sont : le *corps de l'âme corporelle;*
le *corps de l'esprit corporel;*
le *corps corporel du corps.*

Comment sont-ils engendrés?

a) L'élément du *feu* et l'élément de l'*air* s'unissent à partie égale, de là le *corps de l'âme corporelle.*

b) L'élément de l'*eau,* en s'unissant avec l'*âme corporelle,* produit le *corps de l'esprit corporel.*

c) L'élément *terre*, en s'unissant avec le *corps de l'esprit corporel,* produit le *corps corporel du corps.*

16. Si on se rappelle que l'*esprit* a été considéré généralement comme intermédiaire de l'*âme* avec la *matière*, on voit, conformément à cette opinion, que le corps *de l'âme corporelle* perd de sa spiritualité, ou se rapproche de plus en plus de la matière, en s'unissant d'abord avec l'*eau*, puis avec la *terre.*

a') Bientôt après, dit Artefius, la partie la plus subtile du *corps corporel du corps*, en s'unissant avec l'*eau,* produit le *corps du corps spirituel.*

b') La *partie la plus subtile du corps spirituel*, en s'unissant avec l'*air*, produit le *corps animal.*

c') La *partie la plus subtile du corps animal*, en s'unissant avec le *feu*, produit le *corps de l'âme corporelle.*

Ainsi le *corps corporel du corps*, en s'unissant successive-

ment avec des éléments de plus en plus subtils (ou volatils), et perdant en même temps de la partie plus ou moins fixe, devient *corps de l'âme corporelle*.

En définitive, c'est donc toujours en se *subtilisant* de plus en plus que la matière passe à l'*état spirituel* d'abord, puis à l'*état d'âme*.

17. Artefius, après avoir dit que la conclusion à laquelle il était arrivé est celle que cherchaient les sages de l'antiquité, ajoute une nouvelle considération qu'il juge nécessaire pour lier celles qui précèdent à la théorie alchimique telle qu'il l'a conçue :

C'est que le *corps de l'âme corporelle*, par son union égale avec l'*eau*, engendre le *corps de l'esprit corporel égal;*

Et l'union du *corps de l'esprit corporel égal* avec partie égale de *terre* a engendré le CORPS ÉGAL, qui est le SOLEIL! Et Artefius, en tenant compte de l'influence des astres sur les corps *inférieurs* (*sublunaires*), ajoute encore : Si les influences de ces astres n'étaient pas diverses, *tous les corps minéraux seraient or!*

18. En effet, suivant Artefius, tous sont formés d'une même matière; leurs *âmes*, leurs *esprits*, sont d'une *seule chose* (*de una re*); ils ne diffèrent que selon le plus ou le moins, et selon la diversité de la *plus grande* ou *moindre décoction* (*); conséquemment, leur diversité vient de la diver-

(*) *Décoction*, l'action de digérer; circuler la matière dans le vase sans addition d'aucune chose étrangère. Pour se faire une idée de l'importance de ce mot dans l'esprit des alchimistes, il suffit de lire dans le deuxième volume de la *Bibliothèque des philosophes chimiques*, p. 375 (édition de 1741), ce que dit le TRÉVISAN dans son livre de la *Philosophie naturelle des métaux*, et l'on y verra



sité des influences qu'ils reçoivent des corps célestes, et *leur nombre* même est celui des sept planètes; leur nature, leurs couleurs, leurs odeurs et leurs autres propriétés en dérivent. Je développerai plus loin les conséquences de ces propositions avancées par Artefius en faveur de l'influence des astres sur les corps inférieurs (terrestres) (22 et suivants).

19. Artefius fait un raisonnement par lequel il veut démontrer que tout composé d'éléments a en lui les quatre natures, à savoir : la *chaleur*, la *froidure*, l'*humidité* et la *siccité*.

20. Il établit ensuite les rapports suivants :

Les corps minéraux sont engendrés des éléments; tout minéral est le subtil terreux.

Les plantes sont engendrées des minéraux; la plante est le subtil minéral.

Les animaux sont engendrés des plantes, et le corps animal est le subtil de la plante même.

Et parce que l'un se résout en les autres dont il est composé, les animaux, en se décomposant, engendrent des plantes; celles-ci, en se décomposant, engendrent des minéraux ; ceux-ci se réduisent en éléments; et ceux-ci enfin en leurs natures (13).

21. Les conclusions d'Artefius sont :

1° Que l'*épais* est le *corps*, et le *subtil* l'*esprit* et l'*âme;* mais que l'esprit et l'âme sont de la composition du corps;

2° Que dans la corruption (décomposition) du corps, l'âme devient esprit, et l'esprit devient corps, parce que l'âme est

---

de plus l'importance qu'on attachait aux *sept couleurs* métalliques: la *noirceur* saturnelle, la *blancheur* joviale, la *couleur* lunaire, la *couleur* airaineuse, la *couleur* martiale, la couleur *soldique*, et la septième *couleur* que l'art fait plus parfaite en *rougeur sanguine* que ne peut le faire la nature.



le subtil de l'esprit, et l'esprit le subtil du corps, et que toutes choses engendrées l'une de l'autre sont formées des mêmes éléments;

3° Que la nature des corps *minéraux* est comme la nature de la *terre*, *froide* et *sèche;*

Que la nature des *plantes* est de la nature de l'*eau*, *humide* et *froide;*

Que la nature des *animaux* est de la nature de l'*air*, *humide* et *chaude*.

DEUXIÈME SECTION

EXAMEN COMPARATIF DES IDÉES D'ARTEFIUS ÉMANÉES DE LA *MÉTHODE* **A PRIORI** AVEC LES IDÉES DES SCIENCES PHYSICO-CHIMIQUES EXPRESSION DE LA *MÉTHODE* **A POSTERIORI** *EXPÉRIMENTALE*.

22. Après ce long exposé des opinions d'Artefius, examinons-les d'une manière comparative, pour montrer en quoi, expression de la *méthode* A PRIORI, elles diffèrent des idées actuelles, expression de la *méthode* A POSTERIORI *expérimentale*.

Artefius, qui passe pour Arabe d'origine, était probablement mahométan de religion; quoi qu'il en soit, il se montre déiste dans toute la force du terme, quand il considère la matière créée par la parole non articulée du Dieu tout-puissant. Mais cette matière, conformément, prétend-il, aux opinions

d'Aristote et de Platon, fut créée selon lui sans aucune propriété. Les différentes manières dont les corps affectent nos sens tiennent à des propriétés qu'ils n'ont manifestées qu'après la création de leur *matière première* (3); ainsi, après elle la *lumière* fut créée (5), et de celle-ci vinrent les *quatre natures simples :* la *chaleur*, la *froidure,* la *siccité* et l'*humidité,* dont une seule, la *chaleur,* est *active*, puisque la *froidure* est *passive,* la *siccité* négative, et l'*humidité*, formée de partie égale de *froidure* et de *chaleur*, ne peut avoir d'activité que par celle-ci (8, 9).

Les quatre natures simples que possède chacun des quatre éléments (13), et dès lors toute chose, tout être, formés de ces éléments et susceptibles d'affecter nos sens, que sont-ils réellement dans le système d'Artefius? Évidemment indépendants de la matière, ils sont de *véritables abstractions* auxquelles il assigne des rôles qui font de chacune d'elles un être, ou plutôt une *entité*, comparable par ce rôle à une espèce chimique essentiellement matérielle ou *concrète ;* et si l'on se rappelle que la *chaleur* et la *froidure*, unies à parties égales, constituent l'*humidité*, en d'autres termes, l'EAU (9 et 27), on verra qu'aucun système n'est comparable à celui d'Artefius, puisqu'en définitive les quatre natures simples, unies en proportions différentes, sont considérées à l'égal de *principes* ou d'*éléments concrets ;* et, sous ce rapport, n'est-il pas d'un grand intérêt, au point de vue philosophique, de comparer le système d'Artefius au système d'idées où la matière est envisagée dans les espèces chimiques telles que je les ai définies, sous le double rapport de leur simplicité et de leur complexité de composition, et conformément à la distinction du *concret* et de l'*abstrait* à laquelle est subordonnée la distribution des

connaissances humaines du ressort de la philosophie naturelle (*)?

23. Dans l'esprit d'Artefius, les propriétés étant des accidents de la matière produits par des causes qui lui sont étrangères, et qu'elle reçoit de ces causes indifféremment, selon les circonstances, pensée que justifie d'ailleurs le mot *receptivum*, *réceptacle*, donné à la matière première telle qu'il en a exposé la création par Dieu (3), il s'ensuit que les propriétés de la matière sont considérées en elles-mêmes, abstraction faite de l'idée que la science moderne donne aujourd'hui de l'*espèce chimique*, laquelle représente une matière parfaitement définie par un ensemble de propriétés physiques, chimiques et organoleptiques qui n'appartient qu'à cette espèce. Effectivement, l'essence de celle-ci réside dans la nature spécifique des atomes, leurs proportions respectives, lorsqu'ils ne sont pas homogènes, leur nombre et leur arrangement; nous nous représentons idéalement l'espèce chimique dans le *corps simple* par un minimum d'atomes homogènes placés à des distances, dépassant de beaucoup leur diamètre, et dont les centres de gravité compris dans des plans qui se coupent représentent ainsi un solide symétrique que l'on appelle *molécule;* dans le *corps composé*, la molécule imaginée renferme un minimum d'atomes de deux ou de plusieurs espèces de corps simples en nombre déterminé, et pareillement soumis à un arrangement symétrique. La MOLÉCULE est l'*individu de l'espèce chimique* (**), mais trop ténue pour affecter le toucher

---

(*) *Histoire des connaissances chimiques*, tome Ier, définition de l'espèce chimique, distribution des connaissances.

(**) Chevreul, *Analyse organique*, p. 17 (1824).

et la vue, nous ne la touchons, nous ne la voyons que dans les agrégats qu'elle forme.

24. L'essence de l'espèce chimique résidant dans la matière même des atomes qui la constituent, en ayant égard à leur nature spécifique, à leur proportion, à leur nombre et à leur arrangement, la différence est extrême entre cette manière de voir et celle d'Artefius.

Les propriétés, loin d'être accidentelles à la matière, sont considérées comme lui étant inhérentes; nous ne pouvons les en séparer que par la pensée, et c'est même en étudiant séparément et comparativement une même propriété dans une série de corps où elle existe, qu'on parvient à la connaître aussi bien que possible. C'est la faiblesse de l'esprit humain qui nous oblige de les étudier ainsi; mais, après une étude aussi approfondie que possible, nous ramenons ces propriétés aux espèces chimiques préalablement bien définies, desquelles la pensée les avait séparées; et c'est après avoir étudié ces propriétés d'une manière comparative qu'en les ramenant à l'espèce concrète de laquelle l'*analyse* intellectuelle les avait séparées, on opère une *véritable* SYNTHÈSE; et dans ce retour du résultat de l'*analyse* au *concret* réside le *caractère positif de la science actuelle*. Ainsi, tout en disant que nous ne connaissons l'*objet concret* que par ses propriétés, ses attributs et les rapports de ces propriétés, de ces attributs avec un *autre objet concret;* que ces *propriétés*, ces *attributs* et ces *rapports* ne sont que des *abstractions;* et que ces abstractions, bien étudiées et nettement définies, sont les *seuls éléments* des sciences du domaine de la philosophie naturelle, nous proclamons en outre que ces *abstractions* ne peuvent jamais être considérées comme *exis-*

tant indépendamment de la matière qui les a présentées à l'étude (*).

25. En qualifiant d'*abstraction* un fait, je dis qu'il est d'autant plus exact, d'autant plus vrai que l'énoncé par lequel on l'exprime, n'éveille qu'une idée claire, parce qu'il donne lieu à une seule interprétation ; je cite comme exemple l'idée d'un chiffre, d'un *signe mathématique,* dont le sens est unique ; ou, si le *fait* comprend plusieurs idées, ces idées ont par leur définition respective le caractère d'une *idée simple :* ces propositions bien comprises, il faut insister de nouveau sur l'extrême différence existant entre la manière dont je viens d'envisager le *concret* et l'*abstrait* et les idées spéculatives d'Artefius.

26. Les quatre natures qu'il a distinguées n'étant que des *abstractions*, ainsi que j'appelle les *propriétés*, les *attributs* et les *rapports* de tout objet concret, il faut insister en dernier lieu sur l'extrême différence des deux manières de voir; car un *abîme les sépare.* En effet, Artefius considérant ses *quatre natures simples* indépendamment de toute matière, elles sont bien pour lui, en définitive, des *abstractions réalisées*, des *entités*, tandis qu'à mon sens elles ne peuvent être séparées du *concret*. Or qu'on veuille bien se rappeler la manière dont il envisage l'*humidité*, produit, selon lui, de l'union de parties égales de *chaleur* et de *froidure*, de sorte que la cause de deux sensations, ou, en d'autres termes, de *deux propriétés organoleptiques*, le *chaud* et le *froid*, en s'unissant à parties égales, *produisent l'humidité !* Qu'on réfléchisse à ce que cette *humidité* est en réalité *de*

(*) *Histoire des connaissances chimiques,* tome I (301).

l'eau, corps pondérable, *être concret* par excellence, et l'on verra qu'entre la méthode *à priori* qui a conduit Artefius à une telle opinion et la conclusion où m'a conduit la *méthode à* POSTERIORI *expérimentale*, il est vrai, comme je l'ai dit, qu'un *abîme existe!*

27. Pour bien comprendre la différence que je signale entre une opinion *à priori* et l'opinion d'après laquelle on considère aujourd'hui les propriétés des espèces chimiques comme inhérentes à la matière de chacune d'elles, ne perdons pas de vue que, dans l'hypothèse d'Artefius, il n'y a de défini que les quatre genres de natures, et qu'elle admet que les quatre éléments possèdent chacun les quatre *natures simples* en proportions différentes, qu'il n'assigne pas, parce qu'il lui eût été impossible de le faire, quand même il l'eût voulu. Dès lors, si chaque élément possède les quatre natures simples en des proportions différentes mais indéfinies, comment, dans l'étude chimique de la matière supposée formée de ces mêmes éléments, arriver à des expressions d'une précision comparable à celles où conduit l'étude de la matière considérée comme formée d'espèces chimiques définies comme le sont l'oxygène, l'hydrogène, le carbone.... et leurs composés, tels que l'eau, l'acide carbonique, l'oxyde de carbone?... Et sans aller jusqu'à nos jours, disons que, relativement aux philosophes et aux alchimistes, qui considéraient les quatre éléments comme des êtres concrets doués de propriétés essentielles, les idées de la composition des corps énoncées par eux et même par ceux encore qui, à l'exemple d'Athénée et de Galien, avaient réduit les éléments aux quatre qualités, le *chaud*, le *froid*, l'*humidité* et le *sec*, étaient bien moins vagues que celles d'Artefius.

TROISIÈME SECTION

INFLUENCES ASTRALES SUR LA MATIÈRE TERRESTRE SUIVANT ARTEFIUS.

28. Si rien n'est plus conforme que le système d'Artefius à l'idée de la transmutation, il me reste à montrer l'étroite union de ce même système avec l'influence attribuée aux planètes sur les *corps inférieurs*, c'est-à-dire les *corps terrestres*.

29. L'exposé que je vais faire expliquera plus d'une opinion encore régnante, dont on pourrait en vain chercher longtemps l'origine dans un grand nombre de traités d'astrologie que j'ai feuilletés et même lus, mais dont aucun ne m'a présenté des idées plus clairement exprimées que celles qui le sont dans la *Clef de la plus grande sagesse*, relativement au genre d'influence sur les corps sublunaires que l'on a attribuée aux astres dans l'antiquité et le moyen âge surtout.

30. Mais avant tout, je ne puis trop insister sur une proposition d'Artefius dont il fait un *principe fondamental de sa doctrine*. Je l'ai déjà signalé (2), en me proposant d'expliquer plus tard l'importance qu'il y attache.

Ce *principe est celui des* SEMBLABLES, *pour expliquer l'union de toute chose avec une autre;* de sorte que deux contraires ne s'unissent pas ensemble sans une troisième chose intermédiaire qui les rapproche; et conformément à cette manière de voir, *il a admis que la* CHALEUR *ne s'unit à la* FROIDURE *que par l'intermédiaire de l'*HUMIDITÉ (7, 9).

31. Enfin, c'est encore conformément à ce principe que tant d'auteurs ont refusé à l'*âme* la faculté de s'*unir* au *corps* sans un troisième *être*, participant de l'un et de l'autre, qu'ils ont appelé *esprit*.

32. L'indifférence de la matière à recevoir telle propriété ou telle autre de la part d'une cause étrangère à son essence agissant du dehors, conséquemment l'influence des astres sur les corps sublunaires, puis enfin le *principe des semblables* présidant à l'union des choses, une fois admis en fait, non-seulement on explique l'influence des astres sur les êtres terrestres, mais on se rend compte des moyens les plus efficaces à employer quand on veut soumettre quelque objet de notre planète à cette influence.

QUATRIÈME SECTION

GÉNÉRATION DES CORPS TERRESTRES SUIVANT ARTEFIUS.

33. Nous sommes logiquement conduit à examiner comment Artefius comprend l'influence des astres sur les corps terrestres, dont la matière, répéterai-je, est, selon lui, indifférente aux propriétés si variées qu'elle n'affecte que par des causes, étrangères à son essence, qui ont agi sur elle. Ainsi Artefius a dit (17) *que tous les corps minéraux terrestres seraient or, si les influences astrales n'étaient pas diverses.*

Et nous ne séparerons pas ces influences astrales de ce que nous disons de la manière dont Artefius envisage d'abord la génération des corps inorganiques, qu'il distingue en *métaux*

et en *minéraux*, puis la génération des *plantes*, et enfin celle des *animaux*.

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRATION DES CORPS INORGANIQUES. MÉTAUX ET MINÉRAUX.

34. Les corps inorganiques différant les uns des autres par leurs propriétés, et tous devant être or, si les influences astrales n'étaient pas différentes les unes des autres, évidemment l'origine de leur diversité remonte à l'origine des planètes. Mais à quelles causes, la matière des planètes étant identique à celle de la terre, faut-il attribuer la diversité de nature spécifique assignée par Artefius à chacune d'elles? Voilà ce qu'il s'est bien gardé de dire; et cependant les sept planètes exercent, selon lui, chacune une influence diverse, résultant de sa diversité de nature.

Voici ce que dit Artefius de leur nature respective :

35. Le *plomb* vient de *Saturne;* sa nature est comme celle de Saturne (*).

L'*étain* vraiment vient de *Jupiter;* sa nature comme celle de Jupiter.

Le *fer* vraiment vient de *Mars;* sa nature comme celle de Mars.

L'*or* vraiment vient du *soleil;* sa nature comme celle du soleil.

L'*argent vif* vient de *Mercure;* sa nature comme celle de Mercure.

(*) *Plumbum enim de parte Saturni, sua natura est ut sua natura.*

L'*argent* vient de la *lune;* sa nature est comme celle de la lune.

Le *cuivre* vraiment vient de *Vénus;* sa nature comme celle de Vénus.

Les métaux sont ensuite changés en minéraux, et réciproquement, et ils peuvent être altérés comme les éléments qui les forment; car le *feu* devient *air,* et l'*air* devient *feu;* l'*air* devient *eau*, et l'*eau* devient *air;* l'*eau* devient *terre,* et la *terre* devient *eau;* ainsi des autres.

36. J'ai traduit DE PARTE *Saturni* par vient de Saturne, et *sua natura est ut sua natura* par *la nature du plomb est comme celle de Saturne;* que l'on traduise DE PARTE par *du côté*, cette traduction serait peut-être plus correcte grammaticalement, mais elle n'aurait point la précision de la mienne, précision en accord parfait avec la fin de la phrase; car Artefius a voulu dire que, sinon toute la planète, du moins partie de sa matière est de la nature du métal terrestre auquel on a fait correspondre cette même planète. Si on pouvait conserver quelque doute sur ce que j'avance, il sera dissipé lorsque nous verrons le moyen prescrit par Artefius pour faire descendre l'esprit d'une planète dans un *être terrestre concret* quelconque (52, 54).

37. Rappelons-nous maintenant le *principe de la similitude ou du semblable*, dont il a été question (2, 12), et nous concevrons, d'après l'importance que lui a attribuée Artefius, comment une planète agit sur une matière terrestre pour lui communiquer la nature qui prédomine dans sa propre matière; et nous comprendrons l'étendue de l'influence astrale conformément à l'opinion de l'alchimiste, en ne perdant pas de vue la diversité d'effets qu'une matière peut présenter,

puisqu'elle a en elle-même les quatre natures simples, la *chaleur*, la *froidure*, l'*humidité* et la *siccité*, et que l'ensemble de ces propriétés peut produire autant d'effets divers qu'on peut concevoir de résultantes diverses, en admettant :

1° Des proportions différentes dans la nature des unes à l'égard des autres;

2° Des degrés d'énergie en chacune d'elles;

3° Des degrés différents de subtilité ou de fixité.

38. Rappelons encore que les influences des astres, loin d'être bornées aux métaux, selon les astrologues, s'étendent encore aux pierres précieuses, aux plantes, aux animaux, sans parler de leur influence sur la naissance des hommes.

39. Le VIIIe et dernier livre de la *Phytognomonica* de Porta renferme une foule de détails sur les *plantes solaires, lunaires, martiales, saturnines,* etc.; les rapports supposés exister entre les planètes et les plantes reposent sur la couleur, la forme, etc., rapports qu'on a exprimés par le mot *signatures* (*).

Enfin, on a été jusqu'à supposer des rapports entre les planètes et les différents organes de l'homme.

40. Artefius dit qu'au commencement de la création, chaque planète étant dans un des signes du zodiaque en communication directe avec la terre, opéra en celle-ci la génération des corps minéraux proportionnellement à son énergie spéciale; qu'ensuite elle se mit en mouvement. Et cela continua. Il arriva que les minéraux produits d'abord furent altérés, corrompus, et que les corps surcélestes, se montrant de nouveau

(*) Journal des Savants, 1858, page 116.

aux corps inférieurs, des plantes furent engendrées de la matière même qui avait eu auparavant la forme des corps minéraux. En second lieu, le mouvement cessa, les plantes furent altérées. En troisième lieu, le mouvement revint, et de ces plantes les animaux furent engendrés.

41. Artefius ne croit pas que le soufre et le mercure constituent les métaux. Cependant Geber les a explicitement considérés comme formés immédiatement de soufre, de mercure, et en outre d'arsenic; la plupart des alchimistes ses successeurs en adoptant son opinion, ont remplacé l'arsenic par le sel. L'objection d'Artefius contre la présence du soufre et du mercure dans les métaux porte principalement sur l'altération que produit la congélation accomplie, ou devant se faire, dans le corps qui y est disposé, et il allègue, à l'appui de sa manière de voir, la formation du savon au moyen de la cuisson de la lessive de cendre avec l'huile et quelque autre chose, formation qui n'a plus lieu si on prend ces matières séparément, et si on les cuit chacune jusqu'à la congélation, puis qu'on réunisse les choses congelées.

Cet exemple n'éclaircit pas le texte, parce que la difficulté qu'Artefius prétend éclaircir a trait à l'alchimie.

42. Il comprend ainsi la formation des métaux et des minéraux par le soleil dardant ses rayons sur la terre.

D'abord, il parle convenablement de l'échauffement du sol, de l'évaporation de l'eau qui en est la conséquence, puis de la condensation de sa vapeur par le froid de la nuit.

Il est moins heureux quand il étend l'influence solaire à la conversion de l'eau en huile et à l'union de l'eau avec le soufre qu'elle rencontre fortuitement; l'union à partie égale, ou un peu plus, produit de l'*or* ou de l'*argent,* et ainsi des

autres, selon la quantité de leur *décoction* (*). (*Sic de aliis secundum quantitatem ipsius decoctionis.*) Dans le cas où la quantité du soufre excède celle de l'eau, des minéraux, autres que les sept métaux, sont produits.

43. Artefius parle d'un *œuf minéral* provenant de l'union du feu avec l'eau; mais le *feu* n'est pas uni à l'*eau* sans l'intermédiaire de l'*air*, comme la *terre*, pour s'unir à l'*air*, a besoin de l'intermédiaire de l'eau. En définitive, l'œuf minéral renferme les quatre éléments.

Et parce qu'il n'y a pas de génération sans la conjonction du mâle avec la femelle, le *feu* et l'*air* sont *masculins*, et l'*eau* et la *terre féminins;* le *feu* est le *mâle de l'eau*, et l'*air le mâle de la terre.*

44. En définitive, les corps minéraux sont de la nature de l'élément terre, parce que la *froidure* et la *siccité* dominent en eux. Le feu ne s'y trouve qu'en petite quantité, et y est en *puissance* moindre que le 2e degré. Il admet quatre degrés d'énergie dans les natures simples.

Il termine le chapitre qu'il a consacré à la génération des métaux et des minéraux en distinguant dans l'union des corps l'*union partielle* et l'*union totale.*

Elle est *partielle* quand le *corps* s'unit au *corps.*

Elle est *totale* quand les *corps* s'unissent aux *corps,* et les *esprits* aux *esprits.*

45. Il parle en termes fort obscurs d'un *élixir* (*pierre philosophale*) et d'une chaleur apte à convertir *la lune* en *soleil,* dont la puissance varie suivant que l'origine en est minérale, végétale ou animale.

(*) Voir la note de l'alinéa 18.

CHAPITRE II.

GÉNÉRATION DES PLANTES.

46. Artefius, en insistant sur l'impossibilité de faire une plante avec de l'eau et de la terre, quoique, selon lui, elle soit formée de ces éléments, a parfaitement senti qu'une *graine* ou un *œuf* sont indispensables pour la production d'un être vivant. Dès lors on est autorisé à penser qu'il sentait parfaitement l'indispensable nécessité d'un *certain état antérieur* (*) pour que la vie se manifestât dans la matière, et qu'il était éloigné, par là même, de croire à des *générations spontanées,* et cette interprétation sans doute est confirmée par la liaison intime qu'il établit entre la *graine* et l'*œuf*, tous deux produits, non d'un minéral, mais d'un être organique vivant.

47. Si, en parlant de l'*œuf minéral*, il a dit que sa transformation exige le broiement et la dissolution, il a insisté sur la différence qui, sous ces rapports, le distingue de la *graine*. Celle-ci renferme la plante en *puissance ;* la triturer serait détruire toute organisation, et, conséquemment, la plante. Il suffit, pour qu'elle se développe en tige, feuilles, fleurs et fruits, de mettre la graine dans la terre humide où, recevant l'influence du soleil, elle se nourrit d'eau et des parties subtiles de la terre. Et Artefius la caractérise en la considérant comme le subtil ou le délicat du minéral.

(*) *Histoire des connaissances chimiques*, tome I (148).

CHAPITRE III.

DE LA GÉNÉRATION DES ANIMAUX.

48. La plante est le subtil de la terre, et l'animal le subtil de la plante, a dit Artefius; il ajoute: Quand la plante, nourriture de l'animal, est digérée par lui, son *subtil* s'assimile et se sépare ainsi du *gros* (*a grosso*). L'opinion d'Artefius, énoncée en langage moderne, est la division de la matière assimilable en deux parts.

A. L'*une* concerne une partie de froidure et d'humidité de l'eau, laquelle, en s'unissant avec une partie égale de chaleur et d'humidité appartenant à l'animal, produit la *nature de son âme*, qu'Artefius appelle la *nature d'égalité*.

B. L'*autre* part de la matière assimilable monte au cerveau et y engendre la *nature de son intelligence* (*natura ipsius sensus*); elle se compose de trois parties de lumière et d'une d'obscurité; cette lumière, réfléchie de la partie des ténèbres, au cœur, l'illumine; si l'animal est de stature droite, comme l'homme, l'intelligence est partout répartie, au lieu d'être concentrée et latente dans le corps. Telle est la raison pourquoi les animaux ne raisonnent pas à l'instar de l'homme.

49. La composition du corps de l'homme consiste en un certain mélange de *natures égales* avec des *natures inégales*.

L'égalité de nature consiste en :

1° Une *égalité occulte*, c'est la *nature de l'âme* (partie de froidure et d'humidité avec partie égale de chaleur et d'humidité);

2° Une *égalité apparente* des quatre humeurs, qui sont :

Le *sang*, chaud et humide de la nature de l'*air;*

La *bile*, chaude et sèche de la nature du *feu;*

La *phlegme*, froid et humide comme l'*eau;*

La *mélancolie*, froide et sèche de la nature de la *terre*.

Et l'*égalité de ces humeurs est la cause de la conjonction de l'âme avec le corps ;*

Que l'*égalité cesse absolument*, *l'âme est séparée du corps : c'est la mort.*

Mais si l'égalité n'est troublée qu'en certaines limites, le résultat est un trouble de la santé, une maladie,

Et la *guérison médicale, ou le retour à la santé, est le rétablissement de l'égalité.*

50. Je m'interromps pour faire remarquer que si on ne tenait pas compte de l'opinion émise plus loin par Artefius sur la matière, qui est une et constitue l'esprit et l'âme aussi bien que le corps, ne serait-on pas conduit, d'après la manière dont il vient de définir la *mort*, la séparation de l'âme d'avec le corps, à considérer l'auteur comme un spiritualiste? Et le rôle qu'il fait jouer au diable (*diavolus*) dans certaines maladies dont il me reste à parler ne conduirait-il pas à le faire considérer comme un catholique qui admettait la possession du corps humain par le *diable*? Je répondrai plus loin à cette question (60).

51. Si Artefius conçoit l'intervention du *diable* en certaines maladies, d'une manière qui peut nous paraître bizarre, il faut reconnaître pourtant qu'elle est parfaitement conséquente aux idées que je viens d'exposer. Il explique ainsi la fâcheuse influence dans les maladies causées par la prédominance de la bile, humeur qu'il dit être *chaude et sèche comme*

le feu. Or le diable, selon lui, se compose de feu et d'air. Supposons donc qu'il soit entré dans un corps humain affecté d'une maladie bilieuse ; évidemment, pour Artefius, la maladie s'aggravera, parce que l'excès de la bile sur les autres humeurs, cause première de la maladie, se trouvera augmenté, et l'aggravation pourra aller jusqu'à la mort. Le diable est invisible, dit Artefius, parce que le feu, comme plus subtil que l'air, pénètre celui-ci et devient latent.

Quel remède propose-t-il pour expulser le *diable* du corps dont il a pris possession ?

C'est de faire descendre dans ce corps la *lumière*, parce que, *contraire* à la *nature occulte* du *diable*, elle compromet sa puissance et peut aller jusqu'à la détruire. Ce dernier résultat une fois obtenu, le possédé recouvre la santé.

Mais quel est le moyen prescrit par Artefius pour faire descendre la *lumière?* Il prend celle d'une planète, et ce qu'il me reste à dire fera apprécier la grandeur de l'importance que l'antiquité et le moyen âge surtout attachèrent à l'influence des corps célestes sur les *corps inférieurs*, et du *grand monde* sur le *petit monde.*

52. Il me reste à montrer que le *moyen* prescrit pour faire descendre l'esprit d'une planète, avec l'intention de changer l'état d'une personne, d'une chose terrestre, est l'application la plus générale qu'on puisse concevoir du *principe des semblables.*

La planète une fois choisie, l'homme qui veut en faire descendre l'esprit doit revêtir un vêtement de la couleur de la planète ; l'intérieur de son corps doit être autant que possible en rapport de ressemblance avec l'odeur, la saveur, la nature de la planète. Il doit se préparer par une alimentation

fortifiante, et en quelque lieu qu'il se trouve, au lever de la planète ; il doit se tenir debout, prier humblement le Créateur d'accomplir son désir ; et, une fois accompli, il lui en rendra grâce. Qu'il regarde ensuite l'entrée de cette étoile dans son signe, afin qu'elle n'y entre pas par une planète contraire, puis qu'il fasse une croix de la matière (*corpore*) de la planète. Que la grande branche de la croix soit perforée du sommet à la base, afin qu'elle puisse être dressée sur ses deux pieds, et à cheval sur une figure convenable au sujet demandé, par exemple une figure de *lion* ou de *serpent* s'il s'agit d'ennemis à combattre ou à vaincre, sur celle d'un *oiseau* s'il s'agit d'échapper à quelque grand péril, ou sur celle d'une *chaire* (cathedram) s'il s'agit d'honneurs désirés.

Rien de plus étonnant que la raison alléguée par Artefius de la préférence donnée à la croix plutôt qu'à toute autre figure. L'allusion au supplice du Dieu martyr y est absolument étrangère ; le motif de son choix est uniquement d'avoir voulu encore en cela obéir au *principe des semblables ;* car, dit-il, toute chose créée a longitude et latitude, à l'instar d'une croix ; or, l'esprit ayant été créé, il y a similitude entre eux ; c'est donc une raison pour qu'il se rende à la prière de celui qui l'invoque.

53. Artefius parle de ce qu'on doit faire lorsqu'il s'agit du désir qu'on a de subjuguer les hommes de manière qu'ils obéissent comme l'esclave à son maître. Il distingue le cas où l'opérateur connaît la nativité de l'homme sur lequel il doit agir, et le cas où il l'ignore. Je passe des détails de l'interprétation desquels je ne suis pas sûr.

54. Nous n'avons pas fini de l'application du *principe des semblables*, car il nous reste à voir comment procède la per-

sonne qui s'est préparée à faire descendre l'esprit lorsque la planète est dans son signe, et que la croix de la matière de cette planète est dressée à cheval sur la chose ou la personne, ou sur son image fidèle ou allégorique, en un mot, sur l'objet de l'invocation.

On prendra un *encensoir* fait de la matière de la croix (*), percé au sommet de manière que la fumée ne puisse se dégager que par ce trou, après quoi on disposera en plein air un lit propre et brillant, découvert, sur lequel on étendra des herbes qui sont de la nature de la planète (**) dont on demande l'esprit; et rien dans ce lieu, ni proche ni loin, ne sera de nature nuisible à l'effet qu'on désire. L'encensoir recevra des parfums qui sont de la nature de la planète (***), et on en dirigera la fumée dans la partie évidée de la croix. Artefius représente la descente de l'esprit supérieur dans l'esprit terrestre par l'expérience suivante : deux chandelles sont allumées; on éteint l'une d'elles, on l'applique contre la première, au-dessous de la flamme, et alors celle-ci rallume la fumée qui s'élève de la mèche de la chandelle éteinte.

L'*esprit* qui descend de la planète est *âme*, animale ou spirituelle; elle pénètre dans le corps préparé et s'unit à l'*âme corporelle*, parce qu'en effet l'âme corporelle est cachée en chaque corps, à cause de la similitude de la nature de l'une de ces âmes avec les autres.

(*) *Postea accipimus thuribulum de minera illa de qua fecimus crucem....*

(**) Il me paraît que les *herbes et les parfums de la nature de la planète* se rapportent aux plantes et aux parfums que l'on suppose exister dans la planète dont la masse minérale est un des sept métaux.

(***) *Ibid.*



55. Si le corps n'avait pas été convenablement préparé, il s'altérerait et retournerait à ce qu'il était primitivement.

56. Lorsque la *planète* prédominant dans la nativité d'une personne est *infortunée*, la personne est malade aussi longtemps que la *force de son corps* domine sur les *forces de son âme*, et dans le cas même où elles sont égales ; mais si l'âme parvient à acquérir la prédominance sur son corps, l'influence fâcheuse de la planète cessera, et en observant alors les *convenances* de la couleur des vêtements et du régime alimentaire, le but des désirs de l'opérateur sera atteint.

57. Lors de la descente de l'esprit d'une planète, il y a deux choses à distinguer :

La *première* est la *descente* proprement dite, dont il a été question.

La *seconde* est l'*obéissance* de l'esprit même à celui qui l'invoque, avec l'intention de le faire agir selon son désir.

58. Enfin, il me reste à citer les dernières lignes de l'écrit d'Artefius.

Il termine sa *Clef de la plus grande sagesse* en disant :

Tout ce qui a besoin de *sublimation* rentre en trois choses, à savoir :

1° Le *corps corporal ;*

C'est le *minéral*, dont la *subtiliation* se fait de son extérieur à son intérieur.

2° Le *corps spirituel ;*

C'est-à-dire la *plante*, dont la *subtiliation* se fait dans les deux sens.

3° L'*animal*,

Dont la *subtiliation* se fait de son intérieur à l'extérieur.

Si c'est la volonté de Dieu !

59. Quoique les hypothèses d'Artefius présentent l'extrême opposé des idées les plus conformes à la *méthode* A POSTERIORI *expérimentale,* par lesquelles on se représente aujourd'hui la matière dans la diversité des propriétés qu'affectent les espèces chimiques, il n'en est pas moins intéressant, tout en insistant sur les différences extrêmes qui les séparent, de faire remarquer que Artefius, en expliquant la création de la matière par la volonté de la toute-puissance divine, arrive à conclure finalement qu'*il n'existe qu'une seule matière, constituant le corps aussi bien que l'esprit et l'âme de l'homme!*

Conclusion finale qui, pour être ce qu'on peut imaginer de plus conforme à la transmutation des métaux vils en métaux précieux, est ce qu'on peut imaginer de plus opposé aux idées que nous nous faisons d'un Dieu créateur et de l'immortalité de l'âme. N'est-il pas bizarre de voir Artefius admettre l'existence du diable (*diavolus*) et de le faire intervenir comme cause morbide pouvant occasionner la mort! Enfin, après avoir parlé de la matérialité de l'âme, n'est-il pas difficile de concevoir qu'il définisse la *mort* la séparation de l'*âme* d'avec le *corps ?*

60. Ces réflexions ne conduisent-elles pas à penser que des interpolations auraient été faites dans le texte de l'alchimiste arabe par quelque écrivain catholique, surtout en ce qui concerne le *diable?* Des hommes versés dans la connaissance des opinions religieuses et philosophiques, parmi lesquels il me suffit de nommer le savant M. Franck, m'ont assuré qu'il faudrait d'autre preuve que la citation du *diable* pour appuyer la réalité d'une interpolation. Et, en effet, le Koran admet son existence.

CINQUIÈME SECTION

LA **CLEF DE LA SAGESSE** (*CLAVIS SAPIENTIÆ*),
QUI PORTE LE NOM D'ALPHONSE X, ROI DE CASTILLE, EST LE MÊME OUVRAGE
QUE LA **CLEF DE LA PLUS GRANDE SAGESSE** D'ARTEFIUS.

---

61. L'Académie sans doute sait trop bien apprécier l'importance de toute recherche qui conduit à la vérité pour qu'il soit nécessaire de justifier le temps que j'ai donné au travail précédent. L'histoire de l'esprit humain, comme je l'ai dit ailleurs, comprend deux parties, dont l'une se compose d'erreurs, d'aberrations, d'absurdités même, et l'autre de vérités. Cette histoire n'est utile qu'à la condition de présenter les deux parties, non isolées, mais unies ensemble, telles en un mot que le temps les a tissées pour ainsi dire. C'est à l'historien à défaire ce tissu pour isoler le *vrai* du *faux*, afin de montrer à tous ce qui devient un élément scientifique de raisonnement et ce qui doit être banni de la science comme cause d'erreur. Mais qui accomplira cette tâche? Ceux qui, au goût des recherches littéraires, réunissent le mérite d'avoir concouru aux progrès des sciences naturelles par des découvertes réelles; eux seuls sachant comment ils les ont faites et les qualités de l'esprit qu'elles exigent. Or ce sont les qualités de l'esprit qui ont présidé aux grandes découvertes scientifiques que le public et le commun des gens du monde ignorent, parce que les auteurs de ces grandes découvertes ont généralement gardé le silence sur la manière dont leur

esprit a procédé pour parvenir heureusement au but qu'ils ont atteint, après des efforts multipliés et variés. Peut-être ont-ils eu raison de se taire; car, après tant de jugements dictés par l'ignorance ou par l'envie, n'est-il pas permis de croire qu'une histoire fidèle de leurs découvertes aurait plutôt prêté à amoindrir leur génie qu'à l'exalter par l'éloge?

62. Quoi qu'il en soit, je ne regrette point le temps donné à mon travail, surtout en considérant le résultat auquel il m'a conduit au point de vue de l'histoire. Pourrait-on croire, si l'on n'en avait pas la preuve, que l'ouvrage dont je présente l'examen ait été publié jusqu'à ce jour sous le nom de deux auteurs différents, et ce, dans le même recueil, le *Theatrum chemicum*, imprimé à Strasbourg en 1660?

On le trouve dans le tome IV, page 198, avec ce titre :

Artefii incipit liber qui Clavis majoris sapientiæ dicitur.

Et dans le tome V, page 766, il est reproduit sous le titre suivant :

Sapientissimi Arabum philosophi Alphonsi, regis Castellæ, etc., liber philosophiæ occultioris (precipue metallorum) profundissimus : cui titulum fecit Clavis sapientiæ. Scriptus anno benedictæ gratiæ, et benignæ miserationis nobis orsæ, etc.

63. En résumé, Alphonse X, né en 1226 et mort en 1284, a fait traduire le livre de *Clavis majoris sapientiæ* de l'arabe en langue castillane; dès lors on ne peut plus douter que *Artefius* était Arabe et qu'il appartient au XIIᵉ siècle, comme

on l'a dit généralement. N'est-ce pas un fait important pour la critique scientifique, l'histoire de la philosophie et l'histoire de l'esprit humain, que l'ouvrage d'un alchimiste arabe ait passé pendant six siècles pour avoir été l'œuvre d'Alphonse X, d'un roi de Castille, fils du roi *Ferdinand* le SAINT? Qu'aucunes remarques n'aient été faites sur ce que le nom d'un roi chrétien était attaché à une œuvre où l'on considérait l'*esprit* et l'*âme* même comme les parties les plus subtiles de la matière? Et que le nom du roi auquel la science astronomique doit les *Tables Alphonsines*, exécutées d'après ses ordres, à grands frais, par des Juifs de Tolède, et portant la date de 1252, année de son avénement au trône, se trouve inscrit en tête d'un ouvrage où l'on présente comme réelles toutes les extravagances de l'astrologie judiciaire?

64. N'est-il pas curieux de trouver dans des écrits historiques sur la chimie, sous le nom d'*Artefius*, un compte rendu de l'ouvrage que j'ai examiné, et sous le nom d'Alphonse X, un compte différent du premier? Et cependant les deux œuvres sont identiques, les deux comptes rendus sont de la même plume, et il est dit dans le tome V du *Théâtre chimique*, page 760... « Inter alia vero quam plurima, librum « etiam istum qui *Clavis sapientiæ* nuncupatur, de lingua « arabica per quendam suum scutiferum in linguam propriam « castellinam videlicet transferri curavit. » L'écuyer, *scutiferum*, était celui d'Alphonse X.

SIXIÈME SECTION

COMPARAISON DE DIVERSES OPINIONS D'ARTEFIUS AVEC CELLES DE PLUSIEURS ALCHIMISTES ET PHILOSOPHES.

INTRODUCTION.

65. En isolant cette étude du quatrième volume de mon Histoire des connaissances chimiques, je craindrais que quelques lecteurs, en voyant un système d'idées si bien liées sur la *transmutation* et les *influences astrales,* crussent que les opinions d'Artefius sont celles de la plupart des alchimistes ; mais ce serait commettre une grande erreur de croire identiques les généralités de l'alchimie qui sont exposées dans les écrits divers des plus renommés chez les *adeptes*. Toutes concernent sans doute la conversion des métaux vils en métaux parfaits, l'or et l'argent; mais les différences sont grandes entre les manières dont chaque alchimiste peut concevoir cette conversion, quoiqu'en définitive tous croient à l'influence des astres et des nombres, tous se représentent les métaux comme des corps complexes, et recourent à des comparaisons tirées de la vie des êtres organisés pour faire comprendre comment ils conçoivent la transmutation. Après quelques remarques sur Geber, Avicenne, Aristoteles (Pseudo-)

et Bernard le Trévisan, j'exposerai des considérations relatives aux analogies et aux différences que présentent quelques opinions d'Artefius comparées à celles de plusieurs philosophes grecs.

CHAPITRE PREMIER.

COMPARAISON DE DIVERSES OPINIONS D'ARTEFIUS AVEC CELLES DE PLUSIEURS ALCHIMISTES.

ARTICLE 1er.

Geber (il florissait vraisemblablement en 830).

66. De tous les alchimistes, Geber est le plus sage dans ses écrits, parce que, tout en professant l'hypothèse de la transmutation, ses traités, et particulièrement sa *Somme du magistère,* ont dû être pour son temps de véritables écrits chimiques. Effectivement, de tous les alchimistes, il a le moins de disposition à recourir aux sciences occultes, et tout en croyant et à la transmutation des métaux, dont il admet d'ailleurs la nature complexe, et à la variabilité de l'espèce dans les êtres vivants, cependant, pour preuve de sa bonne foi et en même temps de l'excellence de son esprit scientifique, on peut dire qu'aucun alchimiste ne s'est montré autant que lui partisan d'une vraie *méthode* A POSTERIORI *expérimentale,* lorsque, s'agissant de juger si le but du *grand œuvre*

avait été atteint dans ses résultats, il a prescrit neuf opérations de contrôle pour en avoir la preuve.

67. Geber a parfaitement apprécié l'importance de la distinction des composés chimiques en plusieurs ordres, lorsqu'il a distingué des composés formés directement de deux, de trois, de quatre éléments, d'avec des combinaisons immédiatement formées de deux ou de trois des premiers composés. C'est ainsi qu'il a dit que les métaux sont formés *immédiatement* de soufre, de mercure et d'arsenic, et que ceux-ci, le soufre, le mercure et l'arsenic, le sont chacun directement de quatre éléments, le feu, l'air, l'eau et la terre.

68. Geber obéissait encore à l'esprit chimique quand il cherchait à se rendre compte des propriétés des composés par celles de leurs principes; cependant il commettait une grande erreur en considérant l'eau comme la cause de l'état liquide, attribuant à sa présence la liquidité du mercure, et de tous les liquides, y compris même celle des métaux fondus par le feu. Si, en partant de l'opinion où les quatre éléments représentaient les quatre états d'agrégation des particules matérielles, il a commis une erreur, que la tendance de son esprit à faire dépendre les propriétés des composés des propriétés de leurs éléments soit son excuse!

ARTICLE 2.

Avicenne (de 980 à 1036).

69. Avicenne, comme Geber, admit la variabilité de l'espèce. Il crut à la transmutation des éléments.

70. Les écrits d'Avicenne, purement alchimiques, ne peu-

vent être comparés à ceux de Geber; mais il en est un (*) sur les minéraux qui, à l'égard de la minéralogie et de la géologie, est fort remarquable.

ARTICLE 3.

Aristoteles (Pseudo-) (1050?)

71. Aristoteles (Pseudo-) considéra aussi les éléments comme transmuables les uns dans les autres, en même temps que, poussant à l'extrême l'importance qu'il attribuait à certains nombres, particulièrement au nombre *quatre*, il posait en principe que tous les corps sublunaires participent des *quatre éléments*, des *quatre natures*, des *quatre unions de natures*, des *quatre couleurs* principales, des *quatre saveurs*, des *quatre odeurs*. Enfin, il fait encore intervenir dans l'étude des corps les *deux sexes*, et leurs *trois dimensions*, hauteur, profondeur et largeur.

Il est vraiment remarquable que Aristoteles (Pseudo-) admette à la fois les *quatre éléments* considérés comme concrets, le *feu*, l'*air*, l'*eau* et la *terre*, et leurs quatre propriétés caractéristiques sous la dénomination de *natures*, à savoir, la *chaleur*, le *froid*, l'*humidité* et la *siccité*, c'est-à-dire qu'il ajoute à quatre choses concrètes les quatre propriétés abstraites qui les caractérisent.

(*) *De mineralibus.*

ARTICLE 4.

Bernard le Trévisan (de 1406 à 1490).

72. Je ne connais rien de plus remarquable, en fait d'idées précises exprimées par un alchimiste, que ce qu'on lit dans le livre du Trévisan (*).

Les *quatre éléments* sont bien dans sa pensée *quatre êtres concrets* formant tous les corps de la nature, et s'il n'exprime pas par le mot *arrangement* le mode d'union des éléments dans les différents corps qu'ils constituent, sa pensée en reconnaît nécessairement l'influence, car des *arrangements divers* sont bien dans sa pensée la *nature de chaque corps*, sa *forme spécifique*.

Par exemple, en se servant du langage actuel, on dira que les quatre éléments ne constituent pas *immédiatement* les métaux, les plantes et les animaux, mais *médiatement;*

Tandis que le *mercure* et le *soufre* constituent *immédiatement* les métaux (**).

Les spermes du mâle et de la femelle de chaque espèce d'animaux constituent cette espèce.

Ces idées sont dès lors bien différentes de celles de Geber, qui combat la fixité de l'espèce dans les métaux aussi bien que dans les corps vivants.

Mais on se tromperait étrangement si, de là, on concluait

(*) *Bibliothèque des philosophes chimiques,* tome II (édition de 1741), pages 351, 352, 353, 354, 355, 358, 359, 362, 364, 366, 368, 370, 371, 372, 373, 375.

(**) Il n'admet dans les métaux que le mercure et le soufre, et rejette donc l'*arsenic* de Geber et le *sel* des alchimistes des XVe et XVIe siècles.



qu'en trouvant aux métaux quelque analogie avec les corps vivants, relativement à la propriété qu'il reconnaît à la *pierre philosophale* de transmuer les métaux vils en métaux parfaits, il admet la *vie* dans les minéraux, conformément à ce qu'a prétendu Isidore Geoffroy Saint-Hilaire : pour se convaincre du contraire, il suffit de lire les pages 341 et 342 du livre du Trévisan (*Bibliothèque des philosophes chimiques*, tome II), et il n'est guère possible de douter que c'est son opinion de la fixité des espèces qui l'a confirmé dans l'idée de la *vie*, attribuée par ses prédécesseurs à la pierre philosophale.

Il pose en principe que la nature seule fait les *natures spermatiques*, et que l'art, intervenant ensuite, peut ajouter à leurs qualités. Et, à ce sujet, il n'est pas sans intérêt pour l'histoire du mot *éléments* de voir comment le Trévisan considère les éléments dans les *deux spermes* qui doivent, selon lui, composer la pierre. Il réduit les quatre éléments à leurs qualités respectives caractéristiques, savoir, le *chaud* et le *sec*, qui représentent le *feu* et l'*air*; ils forment le *sperme masculin;* et l'*humide* et le *froid*, représentant l'*eau* et la *terre*, constituent le *sperme féminin*.

Évidemment, tout en admettant l'existence des éléments, il a recours à leurs propriétés caractéristiques pour comprendre l'idée qu'il s'est faite de la faculté tout hypothétique de la *pierre*.

Il n'est pas nécessaire, je pense, d'insister davantage sur la différence existant entre les manières dont Artefius et le Trévisan envisagent les eléments.

CHAPITRE II.

RAPPORTS DE QUELQUES OPINIONS D'ARTEFIUS AVEC CELLES DE PLATON.

73. Artefius, en parlant de la création de la matière par Dieu, dit (3) : « Sit creatura talis, postea creata est a Deo na-« tura, *sive materia prima de qua Aristoteles in primo Phy-« sicorum, et Plato in Timæo consimiliter scripserunt, quod « est primum passivum, sive receptivum,* que non magna, nec « parva, nec subtilis, nec grossa, nec movens, nec quiescens « ens potuit, nec alia debet nominatione determinari nec rei « cuilibet adsimilari. »

Il semblerait, d'après cette citation, que Platon et Aristote, comme Artefius, auraient eu la même opinion sur la création de la matière par Dieu, et que cette matière aurait été une *abstraction absolument incompréhensible*, puisqu'on lui refuse tout attribut, toute propriété.

En recourant aux textes de Platon et d'Aristote, on reconnaît que leurs opinions ne sont pas celle d'Artefius, et que l'opinion d'Aristote n'est pas celle de Platon.

ARTICLE 1er. *Platon.*

74. Voyons d'abord ce que dit Platon.

Qu'est-ce qui existe de tout temps sans avoir pris naissance? C'est Dieu.



Qu'est-ce qui naît et renaît sans cesse sans exister jamais? Le monde est né, car il est visible, tangible et corporel.

Mais Platon ne dit pas explicitement : Dieu créa la matière, car il dit :

« Dieu, voulant que tout soit bien et que rien ne soit mau-« vais, autant que cela est possible, prit la masse *des choses* « *visibles qui s'agitait sans mouvement, sans forme et sans* « *règle*, et du désordre en fit sortir l'ordre, pensant que l'or-« dre était beaucoup meilleur...

« Dieu, voulant faire le monde semblable à ce qu'il y a de « plus beau et de plus parfait parmi les choses intelligibles, « en fit un animal visible, un, et renfermant en lui tous les « autres animaux, comme étant de la même nature que lui... »

Ce qui est explicite, c'est que Dieu mit l'ordre dans le chaos ; et comme l'économie animale était pour Platon ce qu'il y avait de plus admirable, il considéra le *monde organisé par* DIEU *comme un* ANIMAL *visible*.

Certes, rien ne ressemble, dans ce que dit Platon de cette matière organisée, à cette abstraction incompréhensible que cite Artefius ; car la *masse des choses visibles s'agitait d'un mouvement*...; mais il est évident que Dieu, avant d'organiser cette masse de choses visibles, avait présents à la pensée l'*idée*, le *modèle* du monde qu'il allait organiser tel qu'il est.

75. Je ferai encore une citation propre à montrer la source où Artefius avait puisé les idées de *rapports*, de *proportions*.

« Dieu commença donc par composer le corps de l'univers « de *feu* et de *terre;* mais il est impossible à deux choses de « bien se joindre l'une à l'autre sans une troisième : il faut

« qu'il y ait au milieu un lien qui rapproche les deux bouts, « et le plus parfait lien est celui qui, de lui-même et des « choses qu'il unit, fait un seul et même tout. La proportion « atteint parfaitement ce but (*)...

« Dieu plaça l'*eau* et l'*air* entre le *feu* et la *terre*, et ayant « établi entre tout cela, autant qu'il était possible des rap- « ports d'identité, à savoir, que l'*air* fût à l'*eau* ce que le *feu* « est à l'*air*, et l'*eau* à la *terre*, et que l'*air* est à l'*eau*, il a, en « enchaînant ainsi toutes les parties, composé ce monde vi- « sible et tangible.

« C'est de ces quatre éléments réunis de manière à former « une proportion qu'est sortie l'harmonie du monde, l'amitié « qui l'unit si intimement que rien ne peut le dissoudre (**)... »

La forme géométrique attribuée par Platon à chacun des éléments est une preuve qu'il les considère bien comme des *choses concrètes*, conformément à la manière dont nous considérons aujourd'hui les espèces chimiques.

76. *Quant au principe des semblables*, dont le rôle est si important dans l'hypothèse d'Artefius, il est emprunté à Platon, car le philosophe grec a insisté d'une manière toute particulière *sur la tendance de chaque chose à se réunir aux choses de même espèce* (***).

77. Enfin, je ferai une dernière remarque : c'est que les explications données par Platon des impressions que nous recevons du corps se rapportent à des actions mécaniques.

(*) *Timée*, édition de Cousin, t. XII, p. 120.
(**) *Idem*, page 122.
(***) *Idem*, page 184.

ARTICLE 2. *Aristote.*

78. Aristote reconnaît que la matière existe de tout temps. Il dit (*) : « Dans un sens, la matière périt et naît; et dans un « autre sens, elle ne naît ni ne périt. Ce qui périt en elle, c'est « la privation; mais, en puissance, elle ne naît ni ne périt en « soi. Loin de là; *il y a nécessité qu'elle soit impérissable et « incréée.*

« .... Car j'appelle matière ce sujet primitif qui est le sup-« port de chaque chose, et d'où *vient originairement*, et non « par *accident, la chose qui en sort.* »

En considérant la matière au point de vue le plus général, il ne la qualifiait d'*être* qu'autant qu'elle affectait une certaine *forme;* dès lors il reconnaissait dans l'*être* deux principes, la *matière* ou le *sujet* et la *forme,* relation qu'il trouvait dans l'idée de l'*airain* et celle de *la statue* faite avec cet alliage métallique.

Enfin, à ce point de vue, il admettait un troisième principe, celui de la *privation* (**).

Quelle que soit la différence que nous attachions à l'ideé de matière et celle que je viens d'exposer d'après Aristote, il est visible que l'idée d'une *matière primitive* créée par Dieu, telle que l'admet Artefius (3), est bien éloignée de celle du philosophe de Stagyre que je viens d'exposer.

79. J'ai dit que l'écrit attribué à Alphonse X, la *Clef de la*

(*) *Physique d'Aristote,* traduite par Barthélemy Saint-Hilaire, t. I, p. 494.
(**) *Idem,* t. I, pages XXVII et XXVIII.

sagesse, est une traduction de l'arabe de l'écrit d'Artefius, la *Clef de la plus grande sagesse*. Je dois ajouter que, dans la traduction latine du *Theatrum chemicum*, les mots en *italiques* que j'ai cités précédemment (73) ne se trouvent pas dans la *Clef de la sagesse* attribuée à Alphonse X. On lit : « Sit « creatura talis : postea creata est creatura, quæ nec magna, « nec subtilis, nec grossa, nec movens, nec quiescens dici « potuit, nec alia quacunque determinatione determinari, nec « rei cuilibet assimilari. » Je signalerai encore une différence. Artefius dit (*) : « Propterea dixit magister noster *Belenius* « philosophus, ponas lumen tuum in vaso vitreo claro. » Alphonse X dit : « Et propterea dixit magister noster *Be-* « *lonus* philosophus : ponas lumen tuum in vaso vitreo claro (**). » Sans parler des fautes d'impression, il est des différences assez nombreuses de ponctuation ; mais, en définitive, toutes celles que j'ai observées ne sont jamais assez grandes pour qu'elles ne soient pas le fait des traducteurs.

(*) *Theat. chemicum*, tome IV, page 198.
A la page 199 on lit *Bolemus* au lieu de *Belenius*.

(**) *Theat. chemicum*, tome V, p. 767.
A la page 768 on lit *Bellonus* au lieu de *Belonus*.

RÉSUMÉ.

---

1. Artefius admet l'existence d'un Dieu créateur de toutes choses, y compris la matière.

2. La matière première fut créée sans propriétés ; elle reçut et reçoit celles-ci des causes extérieures, et particulièrement des astres.

3. Il admet l'influence des *nombres*, des *proportions* et de l'*arrangement* des parties matérielles constituant les corps.

4. Il admet quatre natures simples :

Celle de la chaleur;
— de la froidure;
— de l'humidité;
— de la siccité.

5. Ces matières sont susceptibles de quatre degrés d'énergie.

6. Les quatre éléments renferment chacun les quatre natures simples; ils ne diffèrent donc entre eux que par les proportions de ces natures.

Et dès lors ils peuvent tous passer de l'un à l'autre par de simples variations de proportion.

Ce résultat, conforme à ce que l'on sait de l'influence de la diversité des proportions dans l'union des mêmes espèces chimiques, nous montre que la *transmutation* dans les idées

d'Artefius n'avait, à ce point de vue, rien d'étrange ; car, évidemment, ce mot ne signifiait pas pour lui qu'un poids A d'un métal vil se changeait en un poids A d'argent ou d'or.

Artefius considérait chaque élément comme une *entité* plutôt que comme un *être concret*, tel que nous considérons aujourd'hui une *espèce chimique*. Cependant, lorsque nous mettons deux corps, comme l'oxygène et l'hydrogène, dans des cas où ils se combinent, ces deux corps se confondent de manière à n'en présenter qu'un seul, l'*eau*, douée de propriétés tout à fait différentes de celles des gaz qui se sont unis pour la produire.

Combien ce résultat a d'importance pour mettre en évidence la puissance de l'affinité chimique; car il montre qu'aucune force autre qu'elle-même n'est capable de modifier aussi profondément des corps qu'elle unit, en les envisageant au point de vue de leurs propriétés physiques, chimiques et organoleptiques! Que ce résultat a de précision, lorsqu'on dit : l'eau est formée d'un volume d'oxygène et de deux volumes d'hydrogène, lesquels donnent une quantité de vapeur d'eau représentée par deux volumes! Comparez ce langage à celui d'Artefius, lorsqu'il est question de l'union de deux éléments qui, respectivement, sont formés des quatre natures, savoir : la chaleur, la froidure, l'humidité et la siccité; seulement les proportions diffèrent pour chacun d'eux. Et qu'est-ce que vous représente l'eau qu'Artefius considère comme formée de parties égales de chaleur et de froidure (12)? Mais ce vague dans l'expression est précisément ce que la *méthode à priori* avait trouvé de facile pour expliquer la *transmutation*.

7. Tout le système cosmique d'Artefius repose sur le *principe des semblables*.

L'union n'est possible qu'entre eux; de sorte que deux choses contraires ne peuvent s'unir que par l'intermédiaire d'une troisième, moyenne entre les deux premières (*).

8. C'est par le *principe des semblables* qu'Artefius explique l'influence prétendue des astres sur les corps terrestres.

Quelle que soit la manière dont on traduise les mots latins cités dans le cours de cet écrit (**), les mots traduits pourront présenter quelque différence; mais l'interprétation logique sera la même.

Évidemment donc, quand un astre agira sur un objet terrestre sans que son action soit neutralisée ou amoindrie par une influence contraire, la *nature de la matière minérale terrestre* tendra à se manifester dans l'objet terrestre.

Et quand on voudra obtenir une *modification* de *nature* dans un *objet*, un être, *terrestre,* par l'influence d'un astre, il faudra que l'opérateur prépare non-seulement l'*objet,* l'*être*, ou l'*image* qui représente cet *objet*, cet *être*, mais encore sa propre personne, de manière à faire concourir toutes les circonstances de similitude imaginables vers le but que l'opérateur veut atteindre.

9. La disposition à la raréfaction, à la volatilisation, à la *subtiliation*, pour employer l'expression alchimique, a la plus grande influence dans le système d'idées d'Artefius.

(*) Ce ***principe des semblables*** présidant à l'union de toutes choses qui s'unissent, sans tenir compte de l'***attraction moléculaire*** à laquelle nous rattachons la ***cohésion*** et l'***affinité*** depuis 1717 et 1718, c'est-à-dire depuis Newton et Etienne-François Geoffroy, nous explique que l'emploi du mot ***affinité*** avant 1717 et 1718 ne prouve pas que ceux qui en faisaient usage y attachaient le sens qu'on y attache aujourd'hui.

(**) Voir 17, 35, 36, 52, 54.

La subtiliation va :

Dans les quatre éléments, en croissant de la terre au feu,

Dans les minéraux, les plantes et les animaux,

Des minéraux aux plantes,

Des plantes aux animaux.

De sorte que les plantes sont formées du subtil des minéraux, et les animaux du subtil des plantes.

Dans l'homme, le subtil va du corps à l'esprit et de l'esprit à l'âme.

10. Dans les choses, la proportion qui donne l'égalité a une importance considérable, selon Artefius.

L'égalité des quatre humeurs est la condition de la santé de l'homme, et de l'union de l'âme avec le corps.

L'inégalité des quatre humeurs produit le malaise, la maladie, la mort.

Dans un corps fort, l'âme est faible.

Dans un corps faible, l'âme est forte.

11. Il est vraiment remarquable qu'Artefius, pénétré de la pensée de la grandeur de Dieu, ait considéré l'esprit et l'âme comme matériels.

FIN.

MÉMOIRE

SUR LES

ZONES D'ORAGES A GRÊLE

DANS LES DÉPARTEMENTS

D'EURE-ET-LOIR ET LOIR-ET-CHER

PAR M. BECQUEREL

Membre de l'Institut.

Dans mon premier Mémoire sur les zones d'orages à grêle dans les départements du Loiret, de Seine-et-Marne et de Loir-et-Cher, se trouvent les cartes des deux premiers départements et une partie du dernier, sur lesquelles sont tracées les zones qui s'y rapportent. L'Académie a bien voulu, dernièrement, faire graver la carte relative à Loir-et-Cher, ainsi que celle qui concerne le département d'Eure-et-Loir. L'une et l'autre se trouvent à la suite du Mémoire que j'ai

l'honneur de présenter aujourd'hui à l'Académie sur les zones d'orages à grêle dans ces deux départements.

Pour former ces zones, qui se composent des communes qui ont été le plus fréquemment grêlées dans la période trentenaire de 1836 à 1865, j'ai puisé aux mêmes sources que celles qui m'ont servi à former les zones des départements du Centre, c'est-à-dire aux comptes rendus annuels des sociétés d'assurances contre la grêle, et aux états des indemnités accordées par les départements à des indigents pour cause de dégâts causés par ce fléau.

A la fin du Mémoire se trouve le nom des communes grêlées, avec l'indication des années où elles l'ont été.

On a placé, à côté du chef-lieu de chaque commune, sur la carte, un chiffre indiquant le nombre d'années dont elle a été grêlée pendant la période trentenaire. Les chefs-lieux des communes qui n'ont été grêlées qu'une année ou deux sont teintés en vert; celles qui l'ont été de trois à quatre années, en jaune; de cinq à six, en orangé, et au delà, en rouge.

On a formé chaque zone avec les communes qui ont été grêlées au moins trois ou quatre fois, et qui forment toutes un seul groupe, légèrement teinté en noir sur la carte.

Je donne ci-après les noms des communes qui composent chaque zone, en renfermant entre parenthèses les années qui se suivent, afin de mettre en évidence les périodes de grêle et de pouvoir les comparer entre elles.

Les zones sont indiquées sur la carte, avec une légende explicative.

ZONES A GRÊLE DU DÉPARTEMENT D'EURE-ET-LOIR.

ZONE DU NORD.

Communes.	Années de grêle.
Oulins.	1837. 39. 41. 49.
Rouvres.	1859. 43. 52. 54. 57. 60.
Ville-l'Évêque (La)	1850. 56. 58.
Berchères-sur-Vègre	1839. [50. 51]. 58. [60. 61].
Abondant.	1839. [50. 51. 52. 53].
Serville	1850. 52. 55.
Broué.	1839. 45. [50. 51]. 53. 55. 60.
Boutigny	1839. 41. [50. 51]. [53. 54]. 60.
Prouais.	1839. [53. 54. 55]. 60.
Pinthières (Les).	[1851. 52. 53. 54]. 58.

ZONE AU NORD ET A L'EST DE CHARTRES.

Saint-Ange	1843. [49. 50]. [53. 54].
Puiseux.	1849. [52. 53]. 56. [60. 61].
Boullay-Deux-Églises.	1839. 53. [56. 57]. [60. 61]. 64.
Gironville.	1839. 49. [52. 53]. 56. 60.
Ormoy	1844. [48. 49]. 57. 64.
Chêne-Chenu.	1839. 49. 54. [56. 57].
Tremblay (Le).	1849. [51. 52]. [56. 57]. [60. 61].
Néron.	[1849. 50. 51]. 53. 57.
Saint-Martin-de-Nigelles	1851. 53. [58. 59. 60]. 65.
Épernon.	1839. 53. [57. 58. 59. 60].
Hanches.	1839. [51. 52]. 54. [56. 57. 58]. [60. 61].
Écrosnes	1839. 53. 57. 59. 62.
Gallardon.	1839. [52. 53]. 57. [59. 60]. 62.
Bailleau-sous-Gallardon.	1839. [49. 50]. [52. 53]. 56. [59. 60 61].
Champseru	[1848. 49. 50]. [52. 53]. [57. 58. 59]. 61.
Oisonville.	1850. 53. 57. 59. 62.
Allainville-aux-Bois.	1837. 39. [52. 53]. 58.
Garancières.	1839. 45. 49. 53. 55. 57.
Sainville.	1845. [49. 50]. [52. 53]. 55. 57. 62.

Communes.	Années de grêle.
Vierville	1850. 53. 55. 57. 59.
Orlu	1845. 49. 52. 55. 57. [59. 60]. 62.
Granville	1840. 45. 49. 53. 55. 59. 62.
Gommerville	[1849. 50]. 53. [59. 60]. 62.
Dommerville	1847. [49. 50]. 53. 59. 64.
Beaudreville	1845. [49. 50]. 60.
Mondonville	1849. 53. 61.
Denonville	1845. 49. 53. 55.
Aulnay-sous-Auneau	[1849. 50]. [52. 53].
Saint-Léger-des-Aubées	1850. 52. 56. [60. 61. 62].
Santeuil	1839. 45. [47. 48. 49]. [51. 52. 53]. 60.
Ouarville	[1849. 50]. 53. 55. [59. 60. 61].
Boisville-le-Saint-Père	1843. 49. [52. 53]. [55. 56]. [59. 60].
Voise	1845. [52. 53]. 60.
Francourville	1845. 49. 51. 53. [58. 59. 60].
Prunay-le-Gillon	1849. 53. 55.]57. 58. 59].
Berchères-l'Évêque	1839. 56. [58 59].
Sours	1837. 53. 56. [58. 59. 60]. 64.
Houville-la-Branche	[1849. 50. 51. 52. 53]. [58. 59]. 61.
Umpeau	1849. 52. 59. 61.
Coltainville	[1848. 49. 50]. [52. 53]. [57. 58 59]. 61.
Gasville	52. 54. 57. 61.
Gellainville	1852. [59. 60]. 62.
Coudray-Bonneville (Le)	1839. [56. 57. 58]. 63.
Chartres	1849. [53. 54.] [56. 57]. 59. 61.
Poisvilliers	[1850. 51]. [59. 60].
Chartainvilliers	1849. 53. 60.
Bouglainval	1849. 51. [59. 60].
Fresnay-le-Gilmert	1851. [57. 58]. 60. [62. 63].
Amilly	1857. [59. 60. 61].
Saint-Georges-sur-Eure	[1849. 50]. [52. 53. 54]. 57. [59. 60. 61. 62].
Chauffours	[1849. 50]. [53. 54]. 57.
Saint-Arnoult-des-Bois	[50. 51. 52. 53. 54]. 59.
Dangers	[1850. 51]. 53. 56.
Courville	[1850. 51. 52]. 54. 57. 59. 61. 64.
Pontgouin	1839. [50. 51]. [53. 54].
Billancelles	1839. [50. 51. 52. 53. 54]. 57. 59.
Favières	1839. 41. [49. 50. 51]. [60. 61. 62].
Digny	[1839. 40]. [49. 50. 51]. 54. 56. [59. 60]. 62.

Communes.	Années de grêle.
Ardelles	1839. 45. [49. 50. 51]. 54. 62. 64.
Thimert	[1850. 51. 52. 53. 54]. [56. 57]. 62.
Château-Neuf-en-Thimerais	1837. 39. [49. 50]. 52. 54.
Jaudrais	[1839. 40]. 43.
Saint-Maixme	[1848. 49]. 51. [53. 54]. 56.
Mesnil-Thomas (Le)	[1838. 39]. 43. [48. 49]. 59.
Saint-Jean-de-Rebervilliers	1839. [49. 50]. [53. 54].

ZONE DU SUD.

Saint-Victor-de-Buthon	1845. [48. 49. 50]. 59.
Fretigny	1839. 46. 49. 57. 59. 61.
Marolles	1839. 53. [57. 58. 59].
Saint-Denis-d'Authon	1839. [56. 57]. 59. 61. 64.
Thiron-Gardais	1839. 57. 59. 61.
Combres	1839. 54. 57. [59. 60. 61].
Happonvilliers	1839. 59. 61. 63.
Chassant	1839. 54. 57. 59. 61.
Croix-du-Perche (La)	[1839. 40.] 54. 57. 59. 61.
Frazé	1839. 57. [59. 60. 61].
Miermaigne	1857. 59. 61.
Luigny	1842. [59. 60. 61].
Dampierre-sur-Brou	1836. 39. 45. 50. [53. 54]. 57. 61. 64.
Unverre	1845. 49. 52. 57. 61. 64.
Brou	1837. 39. [50. 51. 52. 53. 54]. 57. [61. 62]. 64.
Mottereau	1839. 50. [60. 61. 62].
Montigny-le-Chartif	1839. 43. [53. 54]. 57. [59. 60. 61].
Illiers	[1851. 52. 53. 54]. [61. 62].
Blandainville	1847. [49. 50. 51]. 53. [58. 59].
Magny	1847. [49. 50. 51]. [54. 55]. 57. 59.
Saumeray	1839. 45. 50. 60. 64.
Bouville	1836. 39. 42. 50. 52. 56. 58.
Alluyes	1839. 45. 48. [51. 52]. [54. 55. 56]. [58. 59. 60]. 62. 64.
Montboisier	1839. 45. 51. 53. 55. [57. 58. 59].
Dangeau	[1836. 37]. 39. 42. 45. 53. 59. 64.
Trizay	1839. 48. 51. 55. 57. 59. 62.
Montharville	[1848. 49. 50. 51]. [54. 55]. [57. 59].
Bonneval	1839. 45. [49. 50. 51. 52]. [54. 55]. 57.

Communes.	Années de grêle.
Flaccy	1839. [50. 51]. 53. 59.
Marboue	1839. 58. [60. 61. 62].
Châtillon-en-Dunois	[1841. 42]. 45. 51. 57. 59.
Arrou	1842. 45. 50. 57. 59.
Langey	1845. 49. 54. 57.
Lanneray	1839. 41. 45. 50.
Châteaudun	1839. 51. [53. 54]. [58. 59]. 64.
Autheuil	1857. [59. 60]. 64.
Cloyes	1839. [51. 52. 53]. [57. 58. 59]. 64.
Romilly-sur-Aigre	[1853. 54]. 58.
Charray	1839. 45. [53. 54]. 57. 64.
Thiville	1839. 45. [50. 51]. [53. 54]. [57. 58]. 62. 64.
Villampuy	1839. 45. 51. 53. 59. 61.
Varize	1839. 49. [51. 52. 53. 54]. 57. 59.
Bazoches-en-Dunois	1839. 49. [51. 52. 53. 54. 55]. [57. 58].
Villiers-Saint-Orien t	1839. 51. 53. 61.
Dancy	1839. 45. [49. 50. 51]. 53. 61.
Bullainville	1839. [48. 49. 50. 51]. 53. [58. 59].
Neuvy-en-Dunois	1839. 48. [50. 51]. 53. 60.
Sancheville	1839. 45. [47. 48. 49]. [51. 52. 53]. 60.
Courbehaye	1839. 43. 45. [47. 48. 49]. [55. 52. 53. 54]. 60. 63.
Cormainville	1839. 43. 49. 56. [58. 59]. 62. 64.
Guillonville	1839. 43. [51. 52. 53]. 58. 60.
Loigny	1839. 43. 47. 49. [51. 52. 53. 54]. [58. 59. 60].
Orgères	1839. 43. 45. 49. [51. 52. 53].
Tillay-le-Peneux	1839. 43. 49. [52. 53. 54]. 56. 58.
Bazoches-les-Hautes	1839. 48. [52. 53]. 60.
Germignonville	1843. 47. [49. 50. 51. 52. 53]. [57. 58].
Viabon	1843. 47. [50. 51]. 53. 58. 62.
Allaines	1839. 43. [52. 53]. 58. 64.
Mervilliers	1839. 49. [52. 53]. 58.

PETITE ZONE DU NORD-OUEST.

Saint-Allainville-en-Drouais	1837. 39. [52. 53]. 58.
Escorpâne (Saint-)	1839. 53. 57. 59. 62.
Garancière	1839. 45. 49. 53. 55. 57.
Laous	1839. 49. 51. 59.

En examinant la position des zones d'orages à grêle dans le département d'Eure-et-Loir, on arrive aux mêmes conséquences que pour les zones d'orages à grêle dans les départements de Seine-et-Marne, du Loiret et de Loir-et-Cher, c'est-à-dire qu'à peu d'exceptions près, elles laissent de côté les grands bois ou forêts ainsi que les communes environnantes, qui n'éprouvent pas de dégâts sensibles. En effet, la zone du Nord laisse en dehors la forêt de Preux et tous les bois qui se trouvent entre elle et celle dans laquelle se trouve Chartres. Ainsi toute la partie Est du département, du côté de la Ferté-Vidame, de Senonches, de Chuisnes, etc., n'a pas été atteinte par la grêle. Dans la zone Sud, zone très-étendue, et dans laquelle se trouvent Bonneval et Châteaudun, il n'existe que des bouquets de bois de moins d'importance que dans la partie Est; cette zone se rattache à la principale zone du département du Loiret qui occupe le plateau central de la Beauce, laquelle, ainsi que l'autre zone, faisait partie jadis de la forêt des Carnutes.

Les zones d'orages à grêle dans le département d'Eure-et-Loir ont donc les mêmes allures que dans les trois départements précités.

Dans les communes qui composent les quatre zones, on a mis en évidence les séries composées d'années qui se suivent, afin de mieux faire ressortir les conséquences que l'on peut en déduire.

On trouve des séries qui se rencontrent dans toutes les zones, ce qui indique que la grêle a sévi çà et là dans toutes les parties du département. Ces séries sont particulièrement les suivantes : (50, 51), (52, 53), (60, 61); on les retrouve dans

la zone du Nord, isolées ou simultanément, dans les localités suivantes :

PETITE ZONE DU NORD.

Berchères-sur-Vègre.
Broué.
Boutigny.
Abondant.
Pinthières (Les).

GRANDE ZONE DU NORD.

Puiseux.
Boullay-Deux-Églises.
Le Tremblay.
Hanches.
Gironville.
Néron.
Aulnay-sous-Auneau.
Saint-Léger-des-Aubées.
Santeuil.
Nouville-la-Branche.
Boisvilliers.
Amilly.
Dangers.
Courville.
Billancelles.
Ardelles.
Thimert.
Gallardon.
Bailleau-sous-Gallardon.
Champseru.
Allainville.
Sainville.
Denonville.
Ouerville.
Boisville.
Voise.
Coltainville.
Saint-Georges-sur-Eure.
Saint-Arnoult-des-Bois.
Pontgouin.
Favières.
Digny.

ZONE DU SUD.

Combres.
Frazé.
Luigny.
Illiers.
Thiville.
Brou.
Mottereau.
Monsigny-le-Chartif.
Blandainville.
Marboué.
Dancy.
Bullainville.
Neuvy-en-Dunois.
Courbehaye.
Guillonville.
Germignonville.
Mervilliers.
Loigny.

Bazoches-en-Dunois.
Magny.
Montharville.
Bonneval.
Flacey.
Orgères.
Tillay-le-Peneux.
Bazoches-les-Hautes.
Allaines.

PETITE ZONE DU NORD-OUEST.

Allainville.

Considérons seulement la série 1852 et 1853, qui se trouve dans toutes les zones; il n'est pas dit pour cela que l'orage ait sévi en même temps dans les communes où on les trouve, attendu que les comptes rendus des compagnies d'assurances donnent seulement les dégâts produits dans le cours de l'année pour chaque commune. Or, comme il y a des départements où les orages sévissent plusieurs fois dans le cours d'une année, mais très-rarement dans la même localité, on ne peut dire que les dégâts aient été produits le même jour. On peut en conclure seulement que, dans les années 1852 et 1853, il y avait une telle prédisposition dans l'air que les orages frappaient de préférence telle ou telle commune, en vertu de causes locales.

Dans la période trentenaire que je considère, on trouve des années où les orages à grêle ont laissé des traces de leur passage sur tous les points du département; je citerai principalement l'orage de 1839.

Le département d'Eure-et-Loir présente, comme les autres départements, des communes grêlées qui offrent des périodes de deux, trois, quatre, cinq années suivies d'absence d'années de grêle; il y a une remarque à faire qui n'est pas sans inté-

rêt : on a des séries binaires, telles que 1850, 1851, 1852, 1853, 1860 et 1861, qui se montrent dans les trois zones principales, ce qui prouve que l'orage s'est étendu dans tout le département, mais qu'il ne sévissait que sur certains points qui se trouvaient dans des conditions voulues pour déterminer la chute de la grêle; il y a même une série de quatre, 1850, 1851, 1852 et 1853, qui s'est reproduite trois fois dans la zone du Nord et trois fois dans la zone du Sud.

On doit attribuer à des causes locales le retour de ces périodes remarquables, causes qui dépendent du relief du sol et de la direction des vallées, ainsi que des montagnes qui partagent les nuées orageuses.

Dans le précédent mémoire j'ai donné le catalogue des communes grêlées dans la période trentenaire, ainsi que celui des séries, dans le département du Loiret, j'y renvoie le lecteur. Sur la carte des orages à grêle de Loir-et-Cher, on voit que toute la partie Est du département jusqu'au Cher est à peu près exempte de grêle, ou du moins les orages y commettent peu de dégâts. Il en est de même des forêts qui se trouvent sur la rive gauche de la Loire, particulièrement de la forêt de Russy, de celle de Boulogne et du parc de Chambord, qui sont en dehors des zones. La principale zone du département est celle qui est comprise entre le Loir et la Loire; cette zone se rattache à celle de la Beauce orléanaise. Elle a été exposée à peu près aux mêmes ravages que cette dernière pendant la période d'une trentaine d'années.

Dans cette zone, la forêt de Marchenoir est environnée de communes fortement atteintes par la grêle; d'après les renseignements que j'ai recueillis, il paraît que, dans cette forêt, les communes riveraines des parties de bois nouvellement

coupées sont atteintes par la grêle, tandis que dans les mêmes communes, celles qui ont un certain âge, sont préservées.

Quant à la forêt de Blois, elle est en dehors de la zone, quoiqu'elle en soit très-rapprochée.

Au Nord-Ouest, se trouve une petite zone dont Droué, la Chapelle, Vicomtesse, Bouffry, Ruan, Fontaine-Raoul et Vilbont font partie. Entre cette zone et la précédente se trouve la forêt de Freteval.

La troisième zone est celle de la vallée du Cher, qui s'étend jusqu'à une certaine distance sur la rive droite en Sologne. Quoique cette zone soit souvent atteinte, elle est cependant moins fréquemment visitée que la grande zone entre la Loire et le Loir.

TABLEAU DES COMMUNES GRÊLÉES

DU DÉPARTEMENT D'EURE-ET-LOIR PENDANT LA PÉRIODE DE 1836 A 1864.

A

Communes.	Années de grêle.
Alluyes	1839. 45. 48. [51. 52]. [54. 55. 56]. [58. 59. 60]. 62. 64.
Allaines	1839. 43. [52. 53]. 58. 64.
Amilly	1857. [59. 60]. 61.
Autheuil	1857. [59. 60]. 64.
Arrou	1842. 45. 50. 57. 59.
Aunay	[1849. 50]. [52. 53].
Ardelles	1839. 45. [49. 50. 51]. 54. 62. 64.
Auneau	1850. 52. 61.
Abondant	1839. [50. 51. 52. 53].
Allainville	1837. 39. [52. 53]. 58.

Communes.	Années de grêle.
Allonnes.	1838.
Armenonville-les-Gatineaux.	1839.
Aunet.	1839.
Achères	1839.
Aulnay-sur-Crécy.	1839. 50.
Argenvilliers	1839.
Autels-Saint-Éloi (Les).	1839.
Authou.	1839.

B

Blandainville	1847. [49. 50]. [53. 54]. [61. 62].
Bullainville.	1839. [48. 49. 50. 51]. 53. [58. 59].
Bailleau-sur-Gallardon.	1839. [49. 50]. [52. 53]. 56. [59. 60. 61].
Berchères-sur-Vêgre.	1839. [50. 51]. 58. [60. 61].
Boisville.	1843. 49. [52. 53]. [55. 56]. [59. 60].
Broué	1839. 45. [50. 51]. 53. 55. 60.
Berchères-l'Évêque.	1839. 56. [58. 59].
Billancelles.	1839. [50. 51. 52. 53. 54]. 57. 59.
Beaudreville.	1845. [49. 50]. 60.
Bazoches.	[1848. 49]. 51. 54.
Bouglainval.	1849. 51. [59. 60].
Bonneval.	1839. 45. [49. 50. 51. 52]. [54. 55]. 57.
Brou.	1837. 39. [50. 51. 52. 53. 54]. 57. [61. 62]. 64.
Bailleau-le-Pin	[1861. 62].
Bouville.	1836. 39. 42. 50. 52. 56. 58.
Boutigny.	1839. 41. [50. 51]. [53. 54]. 60.
Boisvilliers.	[1851. 52]. 58.
Beauvilliers.	[1852. 53].
Beaumont-les-Autels.	1839. 43. 54. [58. 59. 60].
Boisvillette.	1839.
Boncé.	1839.
Bargnol.	1839. 43.
Baigneaux	1839. 47.
Boncourt.	1839.
Bu.	1839.
Blevy	1839.

Communes.	Années de grêle.
Beaumont-le-Chartif.	1839.
Boullay-Deux-Églises.	1839. 50. 53. [56. 57]. [60. 61]. 64.
Berchères-Maingot.	[1849. 50].
Bazoches-en-Dunois.	1839. 49. [51. 52. 53. 54. 55]. [57. 58].
Bazoches-Gouët.	1839. 57. 59.
Bazoches-les-Hautes.	1839. 48. [52. 53]. 60.
Brezolles.	1850.

C

Courbehaye.	1839. 43. 45. [47. 48. 49]. [51. 52. 53. 54]. 60. 63.
Coltainville.	1839. 42. 49. [52. 53. 54.] [56. 57. 58. 59. 60. 61].
Champseru.	[1848. 49. 50]. [52. 53]. [57. 58. 59]. 61.
Chartres.	1849. [53. 54]. [56. 57]. 59. 61.
Chartinvilliers.	1849. 53. 60.
Cloyes.	1839. [51. 52. 53]. [57. 58. 59]. 64.
Courville.	[1850. 51. 52]. 54. 57. 59. 61. 64.
Châtillon-en-Dunois.	[1841. 42]. 45. 51. 54. 59.
Charray.	1839. 45. [53. 54]. 57. 64.
Chassant.	1839. 54. 57. 59. 61.
Combres.	1839. 54. 57. [59. 60. 61].
Châteaudun.	1839. 51. [53. 54]. [58. 59]. 64.
Chauffours.	[1849. 50]. [53. 54]. 57.
Cormainville.	1839. 43. 49. 56. [58. 59]. 62. 64.
Chêne-Chenu.	1839. 49. 54. [56. 57].
Crucey.	1839. [52. 53]. 64.
Coudray.	1839. [56. 57. 58]. 63.
Charsonville	1837. 39.
Champron-en-Gatine.	1837. 39.
Chuisnes.	1839.
Châtaincourt.	1839.
Chapelle-du-Noyer (La)	1839.
Christophe.	1839.
Civry	1839.
Champagne.	1839.
Cheron-des-Champs.	1839.

Communes.	Années de grêle.
Charpont.	1839.
Crecy-Couvé	1839.
Cherizy	1839.
Corvées (Les).	1839.
Champrond-en-Perchet.	1839.
Chapelle-Guillaume (La).	1839.
Chapelle-Royale (La).	1839.
Croisilles (Les).	1839.
Coulombs	1840.
Châtenay.	1841. 49.
Charbonnières.	1839. 49.
Coudray-au-Perche.	1850.
Château-Neuf-en-Thimerais.	1837. 39. [49. 50]. 52. 54.
Contrelot.	1839.
Coudreceau.	1839.

D

Dancy.	1839. 45. [49. 50. 51]. 53. 61.
Dampierre-sous-Brou	1836. 39. 45. 50. [53. 54.] 57. 61. 64.
Digny.	[1839. 40]. [49. 50. 51]. 54. 56. [59. 60.] 62.
Denouville.	1845. 49. 53. 55.
Dommerville.	1847. [49. 50]. 53. [59. 60].
Dangeau.	[1836. 37]. 39. 42. 45. 53. 59. 64.
Dangers.	[1850. 51]. 53. 56.
Dammarie.	1839.
Droué.	1839.
Donnemain-Saint-Mamert	1839.
Dambron.	1839. 47.
Dreux.	1839.
Dampierre-sur-Blevy.	1839. 43.

E

Écrosnes.	1839. 53. 57. 59. 62.
Épernon.	1839. 53. [57. 58. 59. 60].

Communes.	Années de grêle.
Épautrolles	[1849. 50]. 61.
Escorpain	1839. [49. 50]. 52. 55.
Ermenonville-la-Petite	1837. 39.
Ermenonville-la-Grande	1839.
Écublé	1839. 49.
Écluzelles	1839.
Étilleux (Les)	1839.

F

Flacey	1839. [50. 51]. 53. 59.
Frazé	1839. 57. [59. 60. 61].
Fretigny	1839. 46. 49. 57. 59. 61.
Francourville	1845. 49. 51. 53. [58. 59. 60].
Favières	1839. 41. [49. 50. 51]. [60. 61. 62].
Fresnoy-le-Gilmert	1851. [57. 58]. 60. [62. 63].
Fresnay-l'Évêque	1836. 38. 43.
Feuilleuse	[1838. 39].
Fains	1839.
Fontenay-sur-Côme	1839. 45.
Fadainville	1859.
Fontaine-les-Ribouts	1839.
Framboisière (La)	1839.
Ferrière	1839.
Fontaine-Simon	1839. 48.
Friaise	1839.
Fontaine-les-Guyon	1850.

G

Germignonville	1843. 47. [49. 50. 51. 52. 53]. [57. 58].
Gommerville	1845. [49. 50]. 53. [59. 60]. 62.
Garancière	1839. 45. 49. 53. 55. 57.
Guillonville	1839. 43. [51. 52. 53]. 58. 60.
Gasville	1852. 54. 57. 61.
Gellainville	1852. [59. 60]. 62.

Communes.	Années de grêle.
Gallardon	1839. [52. 53]. 57. [59. 60]. 62.
Gironville	1839. 49. [52. 53]. 56. 60.
Granville.	1840. 45. 49. 53. 55. 59. 62.
Gas.	1839.
Gilles.	1839. 49.
Goussainville.	1839.
Gatelles.	1839. 49.
Garnay.	1839. 50.
Germainville	1839.
Guéouville.	1839.
Gaudaine (La).	1839.
Grandhoux.	1839.
Gohory.	1842.
Guilleville.	1843.
Guillous.	1849.
Gainville.	1849.

H

Hanches.	1839. [51. 52]. 54. [56. 57. 58]. [60. 61].
Houville.	1849. [50. 51. 52. 53]. [58. 59]. 61.
Happonvilliers.	1839. 59. 61. 63.
Houx	1839.
Havelin	1839.
Hauterive-le-Bourgeois.	1839.

I

Illiers.	[1851. 52. 53. 54]. [61. 62].
Intreville.	1849.

J

Jallans.	1839.
Jandrais.	[1839. 40]. 43.

L

Communes.	Années de grêle.
Loigny.	1839. 43. 47. 49. [51. 52. 53. 54]. [58. 59. 60].
Langey.	1845. 49. 54. 57.
Lacroix-du-Perche.	[1839. 40]. 54. 57. 59. 61.
Luigny.	1842. [59. 60. 61].
Laons.	1839. 49. 51. 59.
Legué-de-Longroi.	1837.
Luplanté.	1836. 37. 39.
Le Mesnil-Thomas.	1838.
Le Favril.	1839.
Landelles.	1839.
Le Puiset.	1839.
Launeray.	1839. 41. 45. 50.
Logron.	1839. 41.
Lutz-en-Dunois.	1839.
Lumeau.	1839. 47.
Landonville.	1839.
Le Vaville-Saint-Sauveur.	1839.
Lonvilliers-en-Drouais.	1839.
Luray.	1839. 50.
Louvilliers-les-Perches.	1839.
La Loupe	1839.
Le Gault-en-Beauce.	1839.
Lugny.	1839.
Lethuin.	1845.
Louville-la-Chenard.	1845.
La Chaussy-d'Ivry.	1849.
Le Boullay-Thierry	1849.
Lachapelle-du-Noyer.	1850.
Lecollée.	1839.
Loigny.	1839. 43.

M

Communes.	Années de grêle.
Magny	1847. [49. 50]. [53. 54]. [61. 62].
Montharville	[1848. 49. 50. 51]. [54. 55]. 57. 59.
Mervilliers	1839. 49. [52. 53]. 58.
Montigny-le-Chartif	1839. 43. [53. 54]. 57. [59. 60. 61].
Miermaigne	1839. 57. 59. 61.
Marboué	1839. 58. [60. 61. 62].
Mondonville	1849. 53. 61.
Mesnil-Thomas	[1838. 39]. 43. [48. 49]. 59.
Marville	1852.
Montboisier	1839. 45. 51. 53. 55. [57. 58. 59].
Mée	1839. 51. [59. 60].
Marolles	1839. 53. [57. 58. 59].
Morvieth	1854. 56. 58.
Marville-Moutier-Brûlé	1839. 50. 60.
Marville-les-Bois	1853. 57.
Mortiers	1836. 39.
Meru	1839.
Mainterne	1839.
Mollans	1839. 43. 45. 49.
Marchezais	1839.
Mesnil-Simon	1839. 49.
Mézières	1839.
Montreuil	1839.
Manon	1839. 48.
Mancé	1839.
Montireau	1839.
Montlandon	1839.
Meslay-le-Vidame	1839.
Mermaigne	1839.
Montlhard	1839.
Maisons	1845.
Montreu	1845.
Morieu	1845. 49.
Mottereau	1839. 50 [60. 61. 62].

Communes.	Années de grêle.
Meamé.	1848. 59.
Meronville.	1849.

N

Nogent-sur-Eure	1846. [48. 49]. [53. 54]. 57. 59. [61. 62].
Nottonville.	1839. 43. [47. 48. 49]. [51. 52. 53. 54]. [57. 58. 59]. [61. 62]. 64.
Neuvy-en-Dunois.	1839. 48. [50. 51]. 53. 60.
Neuville-en-Beauce..	1843. [56. 57]. 61.
Néron.	1849. [50. 51]. 53. 57.
Nogent-le-Phaye	1839.
Nonvilliers.	1839.

O

Orgères	1839. 43. 45. 49. [51. 52. 53].
Ouarville.	[1849. 50]. 53. 55. [59. 60. 61].
Orlu.	1845. 49. 52. 55. 57. [59. 60]. 62.
Oisonville	1850. 53. 55. 57. 59. 62.
Ormoy.	1844. [48. 49]. 57. 64.
Oulins.	1837. 39. 41. 49.
Ozouer-le-Breuil..	1839.
Oueamarchefroy	1839.
Ouerre.	1839.

P

Poupry.	1839. [47. 48]. 50. [52. 53. 54]. 59. 61. 64.
Prouais.	1839. [53. 54. 55]. 60.
Prunay-le-Gillon	1849. 53. 55. [57. 58. 59].
Peronville	1839. 43. 49. [51. 52]. 54. 58. 60.
Pont-Gouin.	1839. [50. 51]. [53. 54].
Poisvilliers.	[1850. 51]. [59. 60].

Communes.	Années de grêle.
Pinthières	[1851. 52. 53. 54]. 58.
Puiseux	1849. [52. 53]. 56. [60. 61].
Pierres.	1838.
Prudemanche.	1839.
Puisaye (La).	1839.
Pont-Évroult.	1839.
Pré-Saint-Martin	1839. 45.
Puiset (Le).	1840.
Pré-Saint-Évroult.	1845.

R

Romilly-sur-Aigre.	[1853. 54]. 58.
Rouvres.	1839. 43. 52. 54. 57. 60.
Roinville.	1837.
Rouvray-Saint-Denis.	1843.
Reclainville.	1845. 49.

S

Sancheville.	1839. 45. [47. 48. 49]. [51. 52. 53]
Santeuil	1849. 51. 53. 56. [60. 61. 62].
Sours.	1837. 53. 56. [58. 59. 60.] 64.
Sainville.	1845. [49. 50]. [52. 53]. 55. 57. 62.
Saumeray	1839. 45. 50. 60. 64.
Serville.	1850. 52. 55.
Senantes.	1851. [58. 59].
Sandarville.	1837.
Santilly	1837.
Soins	1839.
Saulniers.	1839. 50.
Saucelles (La).	1839.
Senonches.	1839.
Souancé.	1839.
Saizé.	1839.

T

Communes.	Années de grêle.
Terminiers.	1839. 47. [51. 52. 53]. [60. 61].
Trizay.	1839. 48. 51. 55. 57. 59. 62.
Thimert.	[1849. 50. 51. 52. 53. 54]. [56. 57]. 62.
Tremblay-le-Vicomte	1849. [51. 52]. [56. 57]. [60. 61].
Thiville	1839. 45. [50. 51]. [53. 54]. [57. 58]. 62. 64.
Torçay-Saint-Ange.	1850. [53. 54]. [56. 57].
Tillay-le-Peneux..	1839. 43. 49. [52. 53. 54]. 56. 58.
Thiron-Gardais.	1839. 57. 59. 61.
Theuville.	[1852. 53]. 55.
Toury.	[1836. 37].
Trizay-les-Bonneval	1836. 45.
Tramainville	1839. 43.
Treon.	1839. 50.
Tardais..	1839.
Thieulin.	1839.

U

Unverre.	1845. 49. 52. 57. 61. 64.
Umpeau.	1849. 52. 59. 61.

V

Viabon.	1845. 47. [50. 51]. 53. 58. 62.
Villiers-Saint-Orient.	1839. 51. 53. 61.
Voves.	1849. [52. 53]. 55. 58.
Varize.	1839. 49. [51. 52. 53. 54]. 57. 59.
Villampuy.	1839. 45. 51. 53. 59. 61.
Ville-l'Évêque.	1850. 56. 58.
Vierville.	1850. 53. 55. 57. 59.
Voise	1845. [52. 53]. 60.
Verigny	[1850. 51]. 55. 60.
Véville-la-Chanard..	1836.

Communes.	Années de grêle.
Ver-les-Chartres.	1839.
Villeau.	1839.
Vieuvicq.	1839. 50.
Vitray-sous-Brezolles.	1839.
Vernouillet.	1839. 50.
Vert.	1839.
Ville-aux-Nonains (La).	1839.
Vichères.	1839.
Ville-Villon	1839.
Villemeux	1839.
Vitray-les-Bonneval.	1845.
Vaupillon.	1848. 50.

Y

Yermenonville	1839.
Yevres.	1839. 45.
Ymonville	1843. 45.

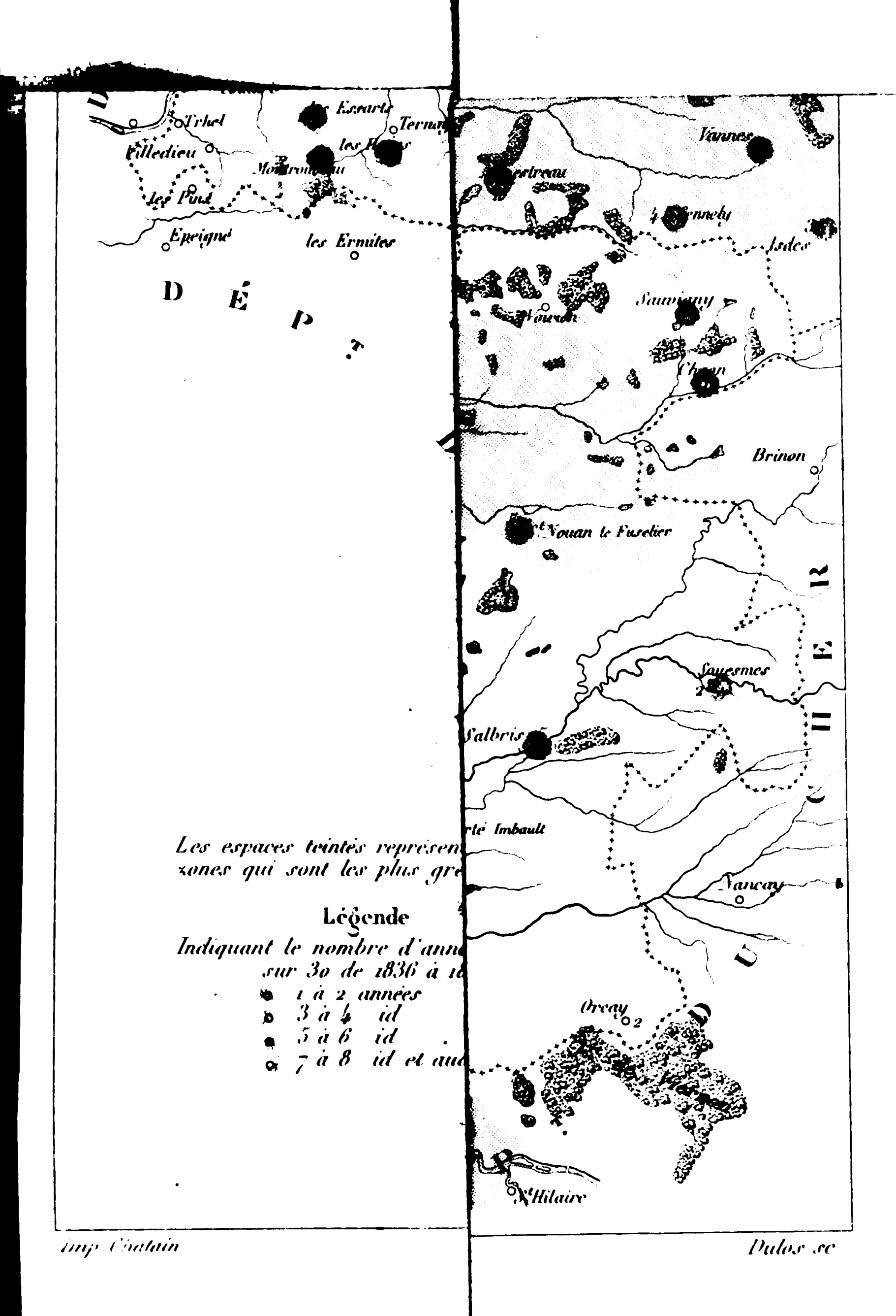
Sts

Saint-Victor-de-Buthon.	1845. [48. 49. 50]. 59.
Saint-Maixme.	[1848. 49]. 51. [53. 54]. 56.
Saint-George-sur-Eure.	[1849. 50]. [52. 53. 54.] 57. [59. 60. 61. 62].
Saint-Arnoult-des-Bois.	[1850. 51. 52. 53. 54]. 59.
Saint-Mamert.	1850. 54.
Saint-Denis-d'Authou	1839. [56. 57]. 59. 61. 64.
Saint-Jean-de-Rebervilliers.	1839. [49. 50]. [53. 54].
Saint-Mesme.	[1849. 50. 51].
Saint-Ange.	1843. [49. 50. 51]. 53. 59.
Saint-Léger-des-Aubées.	1850. 52. 56. [60. 61. 62].
Saint-Martin-de-Nigelle.	1851. 53. [58. 59. 60]. 65.
Saint-Serge.	1839. 53. [57. 58].
Saint-Loup.	1839.
Saint-Pellerin.	1839. 41.
Saint-Cloud.	1839.
Saint-Denis-les-Ponts.	1839.
Saint-Lubin-de-la-Haye.	1839.

Communes.	Années de grêle.
Saint-Germain-de-Lizeau.	1839.
Saint-Denis-de-Moronval.	1839. 50.
Saint-Denis-des Puits..	1839.
Saint-Éliph.	1839. 50.
Saint-Germain-de-l'Épinay.	1839.
Saint-Maurice-de-Galoup.	1839.
Saint-Jean-Pierre-Fixe.	1839.
Saint-Hilaire-des-Noyers.	1839.
Saint-Maur-sur-le-Loir.	1839.
Saint-Bomert.	1839.
Saint-Lubin-des-Cinq-Fonds.. . . .	1839.
Saint-Symphorien.	1845.
Saint-Maur.	1845.
Saint-Christophe..	1845.
Saint-Lubin-des-Joncherets.	1849.
Saint-Jean-Pierre.	1849.
Saint-Ouen-Manchefroy	1850.
Saint-Maisme-Hauterive.	1850.
Saint-Sauveur-le-Vasville.	1850.

FIN.





Imp. Chatain

Dulos sc

MÉMOIRE

SUR

LA DISTRIBUTION DE LA CHALEUR

ET DE SES VARIATIONS

DEPUIS LE SOL JUSQU'A 36 MÈTRES AU-DESSOUS

PAR M. BECQUEREL,

Membre de l'Institut.

M. Fourier a donné la théorie de la chaleur terrestre, en partant de ce principe que la terre conserve encore une partie de sa chaleur d'origine, et que l'excès de la température de la surface du globe sur celle qu'elle aurait si la chaleur centrale n'existait pas avait une relation nécessaire avec l'accroissement de température à différentes profondeurs. Il a pris pour accroissement 1° par 30 mètres, qui est la moyenne des résultats obtenus jusqu'ici, dans les observations de tem-

pérature des couches terrestres sous nos latitudes; résultats qui varient, il faut bien le dire, de 14 ou 15 mètres de profondeur à 50 ou 60 mètres, entre des limites par conséquent très-étendues, qui donnent sur-le-champ une idée des causes nombreuses qui interviennent pour masquer la loi qui régit l'accroissement de température avec la profondeur, si toutefois il existe une loi mathématique, vu l'hétérogénéité des parties qui composent l'écorce terrestre.

On est convenu de prendre pour point de départ de l'accroissement de température terrestre la couche dite invariable, parce que sa température ne varie pas sensiblement dans le cours de l'année.

Cette couche est d'autant plus profonde, comme on le sait, que l'on s'éloigne davantage de l'équateur; M. Boussingault l'a trouvée, sous les tropiques, à l'ombre, à $0^{m}33$ au-dessous du sol. Sous nos latitudes, on lui assigne en moyenne une profondeur de 24 à 28 mètres.

Jusqu'ici, on n'a pu étudier le mouvement de la chaleur au-dessous du sol qu'à l'aide de thermomètres à longues tiges, très-fragiles, et ne dépassant pas encore quelques mètres de longueur; instruments dont les indications exigent des corrections difficiles, nécessitées par l'inégalité des températures des diverses parties des tiges. C'est là, probablement, le motif qui a empêché M. Arago de publier les nombreuses observations qu'il a faites à l'Observatoire, avec des thermomètres dont les tiges avaient jusqu'à 3 mètres de longueur.

Le thermomètre électrique, dont on a donné la description dans un précédent mémoire, permet d'étudier avec précision la distribution de la chaleur au-dessous du sol, les anomalies qu'il éprouve et la possibilité de reconnaître la

position de la couche invariable, si elle n'est pas masquée elle-même par des effets calorifiques résultant de causes locales, et qui ne peuvent être aperçus qu'à l'aide d'instruments très-sensibles et très-exacts.

Un puits foré a été creusé à cet effet au Jardin des plantes, il y a quatre ans, dans lequel on a descendu le câble thermométrique, composé lui-même de plusieurs autres, qui ont permis d'observer, sans interruption, la température des différentes couches de terre, de 5 mètres en 5 mètres, depuis le sol jusqu'à 36 mètres au-dessous. Le puits a été rempli de béton pour éviter le contact du câble, recouvert de caoutchouc, avec les eaux provenant des infiltrations des divers étages de terrains traversés par le puits foré; la température, comme on le sait, est donnée avec exactitude, et ne peut être en erreur que de $\frac{1}{10}$ de degré.

On trouvera ci-après, dans les tableaux 3 et 4, les moyennes mensuelles, annuelles et celles des saisons et de leurs variations.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

THERMOMÈTRES ÉLECTRIQUES.

Tableau n° 1.

MOIS.	TEMPÉRATURE MOYENNE AU-DESSOUS DU SOL.								TEMPÉRATURE moyenne AU-DESSUS DU SOL.	
	PREMIÈRE STATION à 36m.	DEUXIÈME STATION à 31m.	TROISIÈME STATION à 26m.	QUATRIÈME STATION à 21m.	CINQUIÈME STATION à 16m.	SIXIÈME STATION à 11m.	SEPTIÈME STATION à 6m.	HUITIÈME STATION à 1m.	à 1m 33 déduite des observations de 9h du mat. à 9h s.	à 1m 33 déduite des maxima et minima moyens.
1863										
Décembre. .	12°414	12°302	12°102	12°098	11°982	12°432	13°032	9°107	4°765	4°950
1864										
Janvier.. . .	12,470	12,334	12,063	12,105	11,950	12,352	12,725	6,255	— 0,220	— 0,005
Février... .	12,454	12,339	12,064	12,114	11,964	12,204	12,164	5,175	1,045	1,250
Mars.. . . .	12,432	12,309	12,144	12,058	11,965	12,119	11,650	5,840	6,919	7,350
Avril.. . . .	12,446	12,307	12,266	12,074	12,037	12,018	11,057	7,857	10,325	10,300
Mai.	12,448	12,337	12,427	12,101	12,092	12,037	10,937	10,887	14,380	14,730
Juin.. . . .	12,428	12,331	12,428	12,103	12,078	12,058	11,108	13,178	16,165	16,600
Juillet. . . .	12,419	12,319	12,509	12,119	12,105	12,091	11,547	14,188	19,330	19,900
Août.. . . .	12,448	12,310	12,590	12,100	12,100	12,086	11,940	15,268	17,390	17,860
Septembre. .	12,456	12,393	12,513	12,100	12,100	12,100	12,393	14,554	15,285	15,820
Octobre. . .	12,410	12,370	12,350	12,075	12,025	12,045	12,722	12,817	10,047	10,990
Novembre. .	12,400	12,330	12,161	12,072	11,936	12,075	12,747	10,566	4,215	4,590
Moyennes. .	12,436	12,332	12,302	12,093	12,029	12,134	12,002	10,472	9,900	10,539

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

THERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE.

Tableau n° 2.

MOIS.	TEMPÉRATURE MOYENNE AU-DESSOUS DU SOL.							
	PREMIÈRE STATION à 36m.	DEUXIÈME STATION à 31m.	TROISIÈME STATION à 26m.	QUATRIÈME STATION à 21m.	CINQUIÈME STATION à 16m.	SIXIÈME STATION à 11m.	SEPTIÈME STATION à 6m.	HUITIÈME STATION à 1m.
1864								
Décembre. . . .	12°38	12°29	11°99	12°00	11°78	12°00	12°53	7°95
1865								
Janvier	12,36	12,22	11,93	12,00	11,70	11,83	12,07	5,36
Février	12,37	12,20	11,93	12,00	11,62	11,56	11,46	5,52
Mars.	12,37	12,21	11,97	11,96	11,55	11,27	10,89	5,21
Avril	12,35	12,22	12,36	12,00	11,06	11,31	10,49	6,62
Mai.	12,37	12,23	12,44	11,98	11,67	11,30	10,25	10,92
Juin.	12,45	12,28	12,54	12,01	11,64	11,35	10,54	13,62
Juillet.	12,49	12,35	12,64	12,05	11,71	11,45	11,13	14,62
Août	12,52	12,40	12,62	12,03	11,70	11,47	11,66	15,43
Septembre. . . .	12,55	12,35	12,75	12,07	11,74	11,56	12,19	15,27
Octobre.	12,45	12,32	12,45	11,97	11,56	11,57	12,54	14,20
Novembre. . . .	12,42	12,33	12,20	12,01	11,45	11,60	12,44	11,49
Moyennes. . . .	12,42	12,28	12,32	12,00	11,65	11,52	11,54	10,52

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

THERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE.

Tableau n° 3.

MOIS.	TEMPERATURE MOYENNE AU-DESSOUS DU SOL.							
	PREMIÈRE STATION à 36m.	DEUXIÈME STATION à 31m.	TROISIÈME STATION à 26m.	QUATRIÈME STATION à 21m.	CINQUIÈME STATION à 16m.	SIXIÈME STATION à 11m.	SEPTIÈME STATION à 6m.	HUITIÈME STATION à 1m.
1865								
Décembre. . . .	12°400	12°261	11°974	11°850	11°364	11°605	12°597	9°,620
1866								
Janvier.	12,400	12,269	12,063	11,850	11,435	11,685	12,285	7,210
Février.	12,400	12,300	12,096	11,850	11,480	11,683	11,777	7,625
Mars	12,400	12,300	12,100	11,850	11,450	11,456	11,377	6,905
Avril	12,400	12,300	12,216	11,850	11,552	11,427	11,105	7,846
Mai.	12,400	12,300	12,275	11,850	11,650	11,450	10,792	10,140
Juin.	12,400	12,300	12,481	11,900	11,710	11,630	10,986	12,093
Juillet.	12,400	12,300	12,594	11,900	11,825	11,710	11,277	14,600
Août..	12,400	12,300	12,450	11,900	11,800	11,700	11,777	14,956
Septembre. . . .	12,400	12,300	12,510	11,900	11,800	11,700	12,232	14,750
Octobre.	12,400	12,300	12,319	11,900	11,800	11,685	12,540	13,750
Novembre. . . .	12,400	12,300	12,170	11,900	11,736	11,800	12,600	11,520
Moyennes. . . .	12,400	12,300	12,260	11,875	11,626	11,627	11,781	10,915

Nota. — La soudure, à 26m, atteint son maximum en juillet; à 16m, *idem* en juillet; à 11m, *idem* en juillet.

Tableau n° 4.

ANNÉE.	AU-DESSUS du SOL.	AU-DESSOUS DU SOL.							
	A 1m 33. Au Nord, déduite des maxima et des minima.	A 1m.	A 6m.	A 11m.	A 16m.	A 21m.	A 26m.	A 31m.	A 36m.
1864	10°03	10°47	12°00	12°13	12°03	12°09	12°30	12°33	12°43
1865	11,41	10,52	11,34	11,52	11,65	12,01	12,32	12,28	12,42
1866	10,83	10,93	11,78	11,62	11,62	11,90	12,36	12,30	12,40
Moyennes générales.	10°76	10°64	11°76	11°76	11°78	12°05	12°27	12°30	12,42
Nature du terrain.	Terre sableuse rapportée et tassée, couverte d'une végétation herbacée.	Terre sableuse rapportée et tassée, couverte d'une végétation herbacée.	Terre sableuse rapportée et tassée, couverte d'une végétation herbacée.	Terre sableuse rapportée et tassée, couverte d'une végétation herbacée.	Entre la marne verte chloritée et le calcaire dur.	Calcaire.	Argile sableuse appartenant à l'argile plastique.	Argile sableuse appartenant à l'argile plastique	Argile sableuse appartenant à l'argile plastique.

Tableau n° 5.

PROFONDEUR.	SAISONS.	1864	1865	1866	MOYENNES.	
1 mètre. . .	Hiver.	6°81	6°27	8°16	7°07	Minimum.
	Printemps.	8,19	7,58	8,29	8,02	
	Été.	14,20	14,58	13,88	14,22	Maximum.
	Automne..	12,64	13,65	13,34	13,21	
Moyennes..		10,47	10,52	10,92	10,64	
6 mètres.. .	Hiver.	12,61	12,02	12,22	12,29	Maximum.
	Printemps.	11,21	10,44	12,09	11,25	
	Eté.	11,53	11,11	11,01	11,22	Minimum.
	Automne..	12,62	12,34	12,46	12,27	
Moyennes.		12,00	11,50	11,94	11,76	
11 mètres.. .	Hiver.	12,30	11,82	11,66	11,93	Maximum.
	Printemps.	12,06	11,30	11,45	11,60	
	Été.	12,08	11,43	11,68	11,73	Minimum.
	Automne..	12,04	11,58	11,73	11,78	
Moyennes.		12,12	11,53	11,63	11,76	
16 mètres.. .	Hiver.	11,96	11,67	11,42	11,68	Minimum.
	Printemps.	12,00	11,67	11,55	11,74	
	Été.	12,33	11,70	11,77	11,93	Maximum.
	Automne.	12,02	11,60	11,77	11,79	
Moyennes.		12,08	11,66	11,63	11,78	
26 mètres.. .	Hiver.	12,07	11,96	12,19	12,00	Minimum.
	Printemps.	12,27	12,26	12,24	12,20	
	Été.	12,50	12,60	12,55	12,53	Maximum.
	Automne..	12,34	12,05	12,37	12,25	
Moyennes..		12,29	12,22	12,31	12,27	

Les moyennes des observations qui se trouvent dans le tableau I, montrent que la température moyenne de l'air à 1^m33 au-dessus du sol, au nord, déduite des maxima et minima diurnes, est un peu plus forte que celle à 1 mètre au-dessus du sol, au nord, déduite des maxima et minima diurnes; cela tient sans doute à ce que ce mode de calculer la température donne toujours une valeur un peu plus élevée que celle qui est fournie par les autres méthodes.

A partir de 6 mètres, il y a une augmentation de température d'environ 2°, qui reste là même jusqu'à la station de 16 mètres; à 21 mètres, il y a une augmentation de 0°091 sur celle à 6 mètres; à 11 mètres, il y a une anomalie, puis elle continue, quoique très-faiblement, jusqu'à 36 mètres.

De là on peut conclure que, depuis 6 mètres, et probablement au-dessus, la température va en augmentant jusqu'à 36 mètres, où elle est de 12°43, donnant ainsi une différence de 1°93 avec la température à 1 mètre.

Des températures moyennes on a passé aux variations que les températures, aux diverses stations, éprouvent dans le cours de l'année, et, par suite, suivant les saisons. Le tableau contient tous les éléments qui sont nécessaires pour discuter cette question.

Parmi les huit stations, espacées de 5 en 5 mètres, il y en a trois, celles de 21, de 31 et de 36 mètres, dont les températures n'éprouvent pas de variations bien sensibles dans le cours de l'année; elles se comportent donc, sous ce rapport, à peu près comme couches invariables. Où donc placer la véritable couche invariable? On est assez porté à admettre qu'elle est à 21 mètres de profondeur, car sa valeur approche le plus de celle qui est adoptée assez généralement. Ces sta-

tions se trouvent, la première dans le calcaire, et les deux autres dans une argile sableuse.

Quant aux autres stations, situées à 1, 6, 11, 16 et 26 mètres, les températures sont soumises aux variations suivantes :

1° A 1 mètre au-dessous du sol, la température moyenne va en augmentant de l'hiver en été comme dans l'air; la différence entre le maximum et le minimum est de 6°92, tandis qu'elle est de 18°17 dans l'air;

2° A 6 mètres, les variations suivent une marche inverse, le maximum ayant lieu l'hiver; la différence est d'environ 1°;

3° A 11 mètres, la variation, qui n'est que de 0°3, indique encore que le maximum est en hiver, et le minimum entre le printemps et l'été;

4° A 16 mètres, la marche de la température est comme dans l'air; l'amplitude de la variation est de 0°25;

5° Enfin, à 26 mètres, la marche est encore la même; la variation est de 0°53.

Or, de 31 à 36 mètres, la température croissant de 0°12, et à chacune de ces stations la température ayant été constante pendant 1864, 1865 et 1866, on croit pouvoir en conclure que l'accroissement de température est de 1° par 41 mètres, au lieu de 1° par 30 mètres, comme on l'a dit, en moyenne. En commençant à supputer l'accroissement à partir de 21 mètres, qui est la première couche à température constante, on trouve encore 1° par 41 mètres.

Cet état de choses ayant eu lieu pendant trois années consécutives prouve que, dans certaines localités, au-dessous du sol, les variations sont en relation avec celles de l'air, dont elles partagent les vicissitudes, quoique à un degré beaucoup moindre; il est probable que cette relation dé-

pend des infiltrations d'eaux pluviales, qui sont soumises à une marche régulière, lesquelles apportent une perturbation dans la distribution de la chaleur.

Pour vérifier cette conjecture, j'ai prié M. de Lesse, qui vient de publier une excellente carte hydrologique du département de la Seine, de vouloir bien me donner son opinion à cet égard. Voici la note qu'il m'a remise, et que je joins ici, à fin de montrer que mes observations de température sont d'accord avec le régime des eaux infiltrées dans le bassin parisien.

« Les eaux météoriques qui tombent sur le sol, pé-
« nètrent à l'intérieur de la terre, dans laquelle elles s'in-
« filtrent en obéissant à l'action de la pesanteur; elles s'ac-
« cumulent sur les couches imperméables, où elles forment
« des nappes d'eau souterraines. Pour le puits foré du Jardin
« des plantes, la carte hydrologique montre qu'à la pro-
« fondeur de 16 mètres on pénètre déjà dans la nappe d'eau
« souterraine qui alimente les puits ordinaires au Jardin
« des plantes. Cette nappe s'écoule sans cesse vers la Seine,
« reçoit directement les eaux atmosphériques, en sorte
« qu'elle doit participer à leurs variations de température. »

A la profondeur de 6 mètres, on atteint une deuxième nappe souterraine, qui prend naissance sur l'argile plastique. C'est une « nappe puissante, parce qu'elle repose sur les
« couches complétement imperméables. Elle est alimentée
« par les eaux atmosphériques; elle l'est aussi par les eaux
« coulant à la surface du sol, dans les endroits où affleure
« l'argile plastique; elle l'est principalement par les eaux
« de la Bièvre, qui s'infiltrent dans le bassin du canal. Elle
« s'écoule d'abord rapidement, parce que les couches de

« l'argile plastique s'inclinent fortement vers le nord, et « parce qu'elle coule à travers des sables facilement per- « méables. On conçoit donc que, sous le Jardin des plantes, « les variations de température puissent atteindre 0°53, bien « qu'elle soit à la profondeur de 26 mètres au-dessous du « sol. »

Les nappes souterraines, qui sont alimentées directement par les eaux venues de la surface, doivent nécessairement reproduire, en les altérant, les variations de température de ces dernières. Ces variations seront d'autant plus sensibles que les nappes d'eau se trouvent à une moindre profondeur, et que leur écoulement sera plus facile et plus rapide.

« Il fallait, du reste, un appareil aussi précis que celui « qui a été installé au Jardin des plantes, pour qu'il fût pos- « sible d'apprécier les faibles variations de température re- « présentant l'influence des saisons à l'intérieur de la terre. »

Je ne prétends nullement appliquer à d'autres localités les faits que je viens d'exposer, ni les généraliser. On sait, du reste, que la température au-dessous du sol est modifiée plus ou moins par d'autres causes, telles que la nature des terrains, leur épaisseur, la proximité de roches ignées, etc., etc.

Le travail dont je viens de présenter un précis à l'Académie prouve qu'avec le thermomètre électrique, on peut étudier les anomalies qu'éprouve la distribution de la chaleur dans les couches terrestres, anomalies qui intéressent la géologie, la physique du globe et les phénomènes de culture : la géologie, en ce qu'elles indiquent les formations qui sont en rapport avec l'air, par l'intermédiaire, probablement, des infiltrations d'eau pluviale, qui sont une cause incessante de réactions chimiques sur les roches ; la physique terrestre,

en faisant connaître les perturbations qui en résultent dans la distribution de la chaleur terrestre; les phénomènes de culture, enfin, en montrant que la chaleur terrestre peut manifester quelquefois son influence plus près du sol qu'on ne le croyait généralement.

FIN.

MÉMOIRE

SUR

LES PLUIES

PAR M. BECQUEREL

Membre de l'Institut.

La question des pluies est, sans aucun doute, une des plus complexes que la météorologie puisse se proposer de résoudre, en raison des causes nombreuses qui exercent une influence sur leur production. Parmi ces causes, il faut mettre en première ligne la latitude, et, par suite, l'évaporation plus ou moins grande; la position continentale ou maritime des lieux; la direction des vents, suivant qu'ils soufflent de la terre ou de la mer; l'altitude, la proximité des montagnes; les bassins des fleuves et des rivières, selon qu'ils sont en pentes plus ou moins rapides, ou qu'il se trouve sur leurs flancs des vallées, et probablement celle des forêts, etc. Nous examinerons successivement l'influence de chacune de

ces causes, dont la plupart ont déjà été le sujet d'un travail très-important de la part de M. de Gasparin, qui, après avoir réuni, classé et discuté un très-grand nombre d'observations éparses dans des recueils scientifiques, en a tiré des conséquences qui ont éclairé la théorie de la pluie sur plusieurs points.

La pluie provient d'un refroidissement, dû à diverses causes, dans une masse d'air saturée de vapeurs. Les météorologistes ne sont pas d'accord sur celles de ces causes qui exercent le plus d'influence. Fulton a admis qu'elle provenait le plus habituellement du mélange de deux masses d'air saturées de vapeurs, n'ayant pas la même température; dans ce cas, la tension de la vapeur du mélange étant plus grande que celle qui convient à sa température, il y a retour d'une partie de la vapeur à l'état liquide.

M. Babinet envisage comme il suit le refroidissement produit dans une masse d'air humide.

Lorsqu'un gaz se dilate, il y a abaissement de température; s'il se comprime, il y a, au contraire, élévation; or les masses humides, transportées par les vents, montent ou descendent, suivant le relief du sol. Si elles montent, leur pression diminue, leur température s'abaisse, le degré d'humidité augmente, et, si les masses sont au maximum d'humidité, la vapeur d'eau se condense.

D'après cela, les changements de température qui ont lieu dans les masses gazeuses, selon qu'elles sont soumises à une pression plus grande ou moins forte, sont cause fréquemment de la chute de la pluie ou de la disparition des nuages. Plusieurs expériences, qu'il est inutile de rappeler ici, mettent ces faits hors de doute. Supposons, pour fixer les idées,

qu'une masse saturée s'élève de 200 mètres, en admettant que la pression de l'air soit en moyenne de 76° cent., cette pression diminuera de 0°02 ou de $\frac{3}{114}$; mais pour une diminution, à la surface, de $\frac{1}{116}$, on a un abaissement de 1° de température, donc la colonne d'air se réfroidira de 3°. On admet qu'en moyenne il y a un abaissement de 1° de température en s'élevant de 150 à 170 mètres dans nos climats.

On peut donc dire que, par suite de l'ascension de la masse d'air, il y a de la vapeur de condensée.

Je suppose un vent soufflant de la mer, et par conséquent humide, et rencontrant une montagne d'une hauteur limitée : ce courant d'air sera refoulé sur lui-même, s'élèvera en glissant sur la surface de la montagne, sa température s'abaissera, et, suivant sa hauteur, la température de l'air et son degré de saturation, il pourra y avoir pluie sur les deux versants, et beau temps au bas du versant opposé. Il doit donc pleuvoir davantage sur les montagnes que dans les plaines. Nous verrons plus loin qu'il y a des exceptions à cette loi, dont il faut tenir compte dans la discussion des observations, comme M. Belgrand en a fait sentir la nécessité dans son travail remarquable sur les pluies dans le bassin de la Seine.

Quand le courant d'air est saturé et qu'il vient frapper une montagne élevée, il pourra y avoir au bas du brouillard, plus haut un nimbus, puis, au dessus, de la pluie, plus haut, de la neige.

Souvent on voit un nuage qui semble attaché au sommet d'une montagne, bien que le vent paraisse violent; comment cela peut-il se produire? La théorie de M. Babinet en donne une explication satisfaisante : l'air, en arrivant, est assez dilaté pour produire une précipitation de vapeur, et, par

conséquent, pour amener la formation d'un nuage; or le courant d'air, tant qu'il n'est pas interrompu, donne lieu à la formation d'un nuage dans les mêmes points. Il en résulte que le nuage semble s'attacher au sommet, bien que celui qui a été formé primitivement soit emporté à chaque instant par le courant d'air et disparaisse en descendant.

Dans la plaine, toujours suivant M. Babinet, quand une masse d'air humide rencontre des obstacles, tels que des monticules, des arbres, des bois, etc., etc., sa vitesse est nécessairement diminuée à cause des frottements successifs qu'elle éprouve, diminution qui ralentit sa marche; mais, conformément à la loi d'égal débit, l'air qui viendra après celui qui est arrêté montera sur celui-ci et s'élèvera, de même que, lorsqu'un cours d'eau est arrêté dans sa marche, la même quantité d'eau devant passer dans le même temps, il se forme une cascade, ou ressaut; dans ce cas, l'air s'élevant, sa température s'abaissera, et la vapeur pourra se précipiter en formant un nimbus ou de la pluie.

Si deux vents saturés d'humidité, dirigés en sens inverse, viennent à se heurter, l'air, étant refoulé, sera obligé de remonter au-dessus de la région qu'ils parcourent. Cette théorie, qui s'applique à un grand nombre de cas, doit être accueillie avec faveur, mais il est des circonstances où il est nécessaire d'adopter d'autres principes que ceux sur lesquels elle repose pour les expliquer. En effet, toute cause qui amène un abaissement de température dans une masse d'air stationnaire saturée de vapeur amène nécessairement une précipitation de vapeur, produisant un brouillard, de la pluie ou de la neige; c'est précisément le cas où des brouillards se forment en automne, quand le sol étant refroidi par l'ef-

fet du rayonnement nocturne, ce refroidissement amène successivement celui des couches qui sont en dessus; il y a alors précipitation de vapeur quand le degré d'humidité est à son maximum.

On ne saurait non plus rejeter, comme cause de la pluie, le mélange de deux masses gazeuses au maximum de saturation, l'une froide, l'autre chaude, surtout quand ce mélange se continue par la non-intervention de l'arrivée de deux nuages arrivant en sens contraire ou dans des directions obliques et inégalement chauds.

Voyons maintenant quelle est l'influence des diverses causes indiquées :

D'après la théorie de M. Babinet, laquelle repose sur une propriété incontestable, on voit bien que, lorsque la masse d'air humide s'élève à 200 mètres, il y a un abaissement de 3° de température, suffisant pour que la vapeur se précipite sous forme de pluie; mais lorsque l'obstacle qui s'oppose à la propagation du vent n'a qu'une hauteur d'une trentaine de mètres, la diminution de température n'étant que de 0°4, il peut en résulter une bruine, un brouillard; si l'obstacle est moins élevé encore, tel qu'un bois, un taillis, ayant une hauteur seulement de 10 mètres, l'abaissement de température n'est plus que de 0°11; dans ce cas, la précipitation de vapeur est à peine sensible, si toutefois la température au-dessus des arbres est la même qu'au bas. Mais cette égalité n'a lieu que temporairement, comme l'expérience l'a démontré. En effet, la température des feuilles et de l'air ambiant s'élève ou s'abaisse suivant que le sommet des arbres est exposé à la radiation solaire ou à la radiation nocturne pendant les journées et les nuits claires; l'équilibre ne s'établit entre la tem-

pérature de l'air au-dessus des arbres et au bas que vers 6 heures du matin. Si le vent, chargé d'humidité, arrive dans l'une de ces trois phases, les effets sont bien différents : dans la phase d'échauffement, la couche d'air humide qui s'élèvera le deviendra moins; dans la phase de refroidissement, elle le deviendra plus; dans la troisième phase, elle le deviendra un peu moins. Ajoutez à cela que l'évaporation, qui a lieu par les feuilles, augmente l'humidité de l'air; on concevra alors qu'il devra se produire des phénomènes aqueux compliqués sur lesquels nous aurons à nous expliquer plus loin.

Comment étudie-t-on la question des pluies? c'est en recueillant les quantités d'eau tombées, mesurées par mètres ou fractions de mètre carré, au moyen d'instruments appelés udomètres, pluviomètres, décrits dans tous les ouvrages de physique, et placés dans des lieux choisis à cet effet; les quantités toutefois ne sont comparables entre elles qu'autant que ces instruments se trouvent à la même hauteur au-dessus du sol, c'est-à-dire ont la même altitude. M. Belgrand a fait sentir la nécessité de tenir compte de cette condition, dans le travail précédemment mentionné. Quand on ne prend pas cette précaution, les lois cherchées sont masquées, en partie, par les effets résultant des différences dans les altitudes.

Le corps des ponts et chaussées a placé un assez grand nombre d'udomètres dans les bassins des fleuves et des rivières sujets à des inondations, afin d'étudier toutes les circonstances relatives aux crues et même de prévoir, à jour nommé, leur arrivée dans une localité déterminée. Il est à regretter, comme le fait remarquer M. Belgrand, que tous ces instruments ne soient pas placés à la même hauteur,

afin que les observations puissent servir à des discussions scientifiques conduisant à des résultats parfaitement exacts. On peut, néanmoins, utiliser les observations faites, comme nous aurons l'occasion de le montrer plus loin.

Avant d'exposer l'influence des causes locales sur les pluies, je traiterai de celle que peuvent exercer les bois, en raison de l'évaporation incessante qui a lieu par les feuilles et par les parties vertes des arbres après la chute des feuilles. Cette question se rattache naturellement au mouvement de la chaleur dans les végétaux dont je m'occupe depuis plusieurs années, et qui a été l'objet de plusieurs communications de ma part à l'Académie. Nous allons entrer d'abord dans quelques détails à ce sujet.

L'observation a démontré que la température moyenne annuelle de l'air et celle des arbres isolés, exposés, par conséquent, aux rayonnements solaire et nocturne, étaient égales, et qu'il y avait toutefois cette différence, dans l'état calorifique de l'air et dans celui des arbres, que les heures des maxima ne sont pas les mêmes des deux côtés. Ces heures varient suivant la grosseur des arbres; dans les feuilles, les changements de température ont lieu à peu près comme dans l'air; dans les jeunes branches, un peu plus tard, ainsi de suite jusqu'au tronc. Dans des arbres de 5 à 6 décimètres de diamètres, tels que le marronnier d'Inde, le maximum de température a lieu, en été, vers 10 heures du soir, et en hiver, vers 6 heures seulement.

Lorsque les arbres sont réunis et forment des groupes, des bois ou des forêts, il n'en est pas tout à fait de même; les troncs s'échauffent lentement, garantis qu'ils sont du rayonnement solaire par les branches et les feuilles; mais celles qui sont à

la périphérie des arbres, à cause de leur grand pouvoir absorbant et émissif, s'échauffent considérablement sous l'influence du rayonnement solaire, en même temps qu'elles échauffent l'air ambiant, comme l'ont démontré mes expériences, tandis qu'exposées au rayonnement nocturne d'un ciel sans nuages, elles se réfroidissent, et réfroidissent également l'air ambiant, effets qui se manifestent également sur les bas végétaux et sur les herbes des prés.

Les feuilles qui sont au dessous ne participent plus autant au rayonnement solaire ou céleste, de sorte que si le bois est âgé et que les arbres, par conséquent, soient élevés, les maxima de l'air devront être un peu moins forts sous bois en été qu'en dehors du bois. En hiver et au printemps, des effets contraires devront avoir lieu; c'est-à-dire que les branches, dépourvues de feuilles pendant quatre ou cinq mois, préserveront en partie le sol des effets du rayonnement céleste, qui agit plus fortement dans ces deux saisons que dans les deux autres.

Quant aux minima, dans les pays de bois, ils sont moindres en été et en automne hors du bois que sous bois qu'en hiver et au printemps : cela tient sans doute au rôle que jouent les bois comme abris.

En été et en automne, le rayonnement nocturne agit moins sur le sol couvert d'arbres que sur le sol découvert; par conséquent, la température de l'air doit moins s'abaisser la nuit sous bois qu'en dehors. En hiver et au printemps, le même effet a lieu, comme l'indique le tableau X.

La question relative à l'influence du bois sur la température de l'air se complique de plusieurs autres qu'il ne faut pas séparer les unes des autres si l'on veut avoir une appré-

ciation exacte des effets observés, c'est-à-dire des températures moyennes hors du bois et sous bois. Dans le tome XXXII des *Mémoires de l'Académie des Sciences*, se trouvent toutes les observations faites au Jardin des plantes en 1861, 1862, 1863 et 1864. Voici les moyennes de ces observations :

Température moyenne au Nord, à 1m 33 au-dessus du sol, à 9h du matin et 9h du soir.	Température moyenne à 16m 25 au-dessus du sol, à 4 mètres au-dessus de l'amphithéâtre.	Température moyenne à 21m au sommet d'un marronnier.	Température moyenne déduite des observations des maxima et des minima, à 9h du matin.
10° 541	10° 976	11° 536	10° 861

La température déduite des maxima diffère de 0°320 de celle donnée par deux heures homonymes. On sait, du reste, que la différence est ordinairement de 0°2 à 0°3; les moyennes que je viens de rapporter présentent les différences suivantes :

De la station de 21m à celle de 16m 25,	5° 580
De la station de 16m 25 à 1m 33,	0° 435

On voit par là que la température moyenne de l'air va en augmentant au moins jusqu'à 21 mètres au-dessus du sol; mais, à cette hauteur, il faut tenir compte de l'influence exercée par la température des feuilles sur celle de la température de l'air.

On voit par là que, dans chaque lieu, il y a, pour ainsi dire, deux températures moyennes : l'une réelle, qui est indépendante du rayonnement terrestre, et l'autre qui en est dépendante. La première peut être appelée climatérique,

puisqu'elle sert à caractériser le climat sous le rapport de la température eu égard à la latitude; la deuxième ne peut s'obtenir qu'en se plaçant à une certaine hauteur au-dessus du sol, en prenant la moyenne des observations faites sur différents points de la localité, dont les sols diffèrent sous le rapport des pouvoirs absorbants, émissifs et rayonnants; on prend ensuite la moyenne des moyennes.

On se borne ordinairement à observer la température de l'air avec un thermomètre placé au nord, à environ 1^m33 au-dessus du sol, sans avoir égard à la nature du sol, qui exerce une influence sur les observations, comme on vient de le dire. En la négligeant, on introduit une cause d'erreur dans les observations.

On a dit que les observations faites à 9 heures du matin, à 3 et 9 heures du soir, au-dessus des arbres et loin des arbres, donnent des différences qui s'élèvent quelquefois jusqu'à 3° en faveur de l'air au-dessus de l'arbre, au moment de la plus forte chaleur de la journée, tandis que le matin, au soleil levant, lorsque le ciel a été clair pendant la nuit et que le rayonnement céleste a été dans toute sa force, la différence est quelquefois en sens inverse, attendu que l'air, loin des arbres, se réfroidit moins que celui qui les entoure. Ces faits, qui peuvent servir à expliquer la faible différence qui existe entre les températures moyennes annuelles, proviennent de ce que, les feuilles et les parties vertes des végétaux ayant de grands pouvoirs émissifs et absorbants, les effets produits la nuit sont inverses de ceux qui ont lieu le jour. On conçoit alors l'influence que les arbres exercent sur la température de la couche d'air qui les enveloppe : au fur et à mesure que le soleil s'élève au-dessus

de l'horizon, les arbres s'échauffent plus que la température de l'air qui les entoure, laquelle, en s'élevant, donne lieu à un courant d'air chaud ascendant. Ces effets vont en augmentant jusqu'à l'instant du maximum de température de la journée; immédiatement après, l'échauffement des arbres devient moindre, le courant ascendant d'air chaud diminue, et quand le soleil est sur le point de se coucher, le rayonnement céleste, qui n'a pas cessé d'agir pendant le jour, l'emporte sur le rayonnement solaire, et hâte le refroidissement des arbres. La masse entière de ces derniers n'étant pas soumise au rayonnement nocturne, il s'ensuit qu'ils conservent jusqu'à une heure plus ou moins avancée de la nuit une portion de la chaleur acquise dans le jour; ce n'est que lorsque cette chaleur est dissipée entièrement que les feuilles se refroidissent par l'action du rayonnement nocturne, de manière à donner un excès de température en sens inverse. On voit par là comment il se fait que les moyennes de température diurnes et mensuelles de l'air, au-dessus et loin des arbres, présentent de très-faibles différences, alors que dans le cours de la journée ces différences sont assez considérables.

Lorsque le ciel est resté couvert pendant quelques jours, les différences sont alors très-faibles, non-seulement à 9 heures du matin, mais encore à 3 heures du soir, au moment de la plus forte chaleur.

S'il y a des éclaircies de temps à autre, et par suite rayonnement solaire pendant quelques instants, on trouve une différence de température en faveur de l'air qui entoure l'arbre.

Si, pendant le jour, le ciel a été clair et couvert pendant

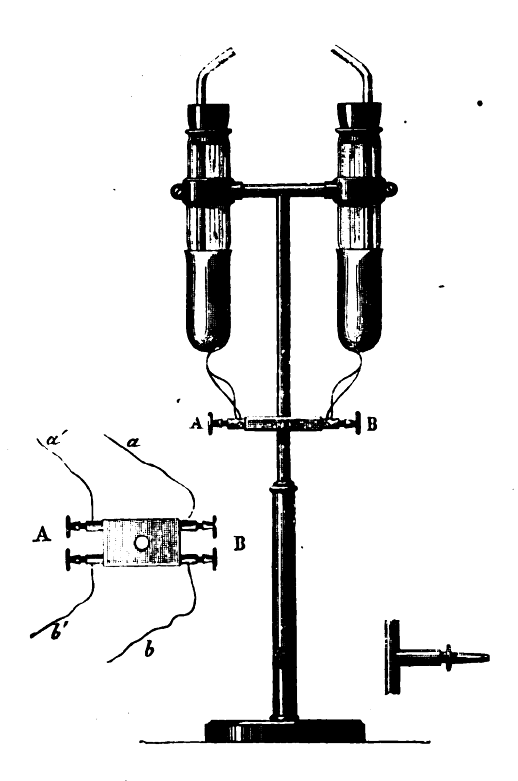
la nuit, les arbres conservent plus longtemps la chaleur acquise sous l'influence du rayonnement solaire, et tendent alors à échauffer l'air. Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque le ciel est resté couvert le jour et clair la nuit, ils agissent alors comme réfrigérants. Ces alternatives d'échauffement et de refroidissement des arbres doivent réagir sur la température de l'air suivant les climats.

Sous les tropiques, où une grande partie de l'année le ciel est clair le jour et la nuit, les effets du rayonnement solaire doivent être détruits par les effets du rayonnement nocturne. Dans les régions polaires, pendant les longues nuits d'hiver, le rayonnement nocturne doit abaisser considérablement la température des arbres verts, et contribuer aux basses températures locales.

L'expérience démontre que les arbres, en s'échauffant ou en se refroidissant sous l'influence du rayonnement solaire et du rayonnement nocturne, comme tous les corps qui sont à la surface de la terre, échauffent ou refroidissent l'air ambiant, d'où résulte, en premier lieu, un courant d'air chaud ascendant; en second lieu, un courant d'air froid descendant, qui tend à refroidir le sol le matin, tandis que dans le jour, les effets contraires sont produits. Les courants d'air chauds emportés par le vent peuvent améliorer la température des localités voisines; ou bien l'air, en s'élevant, perd une portion de sa chaleur sensible qui devient chaleur latente.

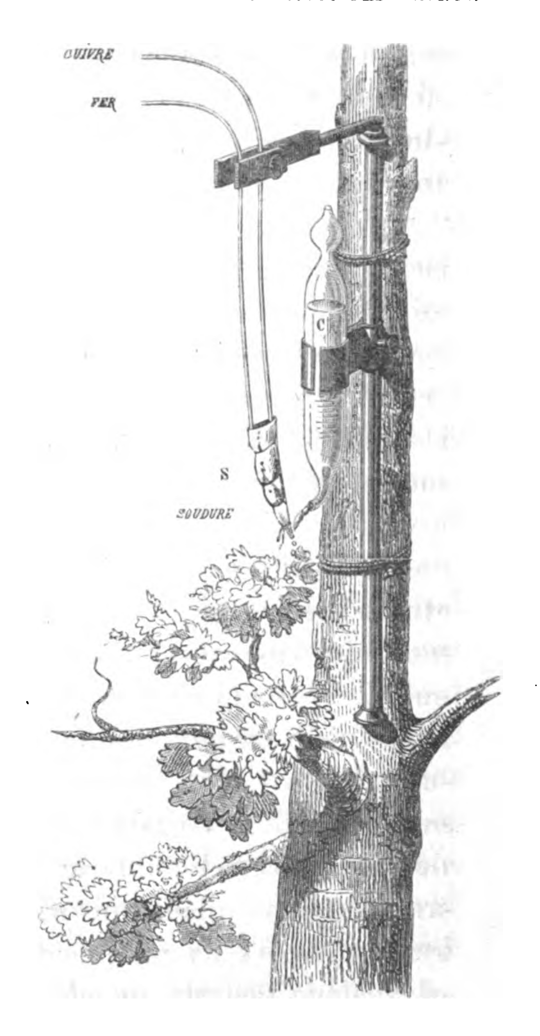
Après avoir exposé tout ce qui résulte de nos observations relatives aux rapports existant entre la température de l'air et celle des grands et bas végétaux, nous allons montrer comment ces rapports peuvent influer sur la formation des

HYGROMÈTRE DE M. REGNAULT
TRANSFORMÉ EN PSYCHROMÈTRE ÉLECTRIQUE.



Les fils a, b et a', b' sont mis en communication avec le galvanomètre à fil couvert.

DISPOSITION DE L'APPAREIL THERMO-ÉLECTRIQUE POUR MESURER L'ÉTAT HYGROMÉTRIQUE DE L'AIR AU-DESSUS DES ARBRES.



vapeurs, et leur précipitation à l'état de brouillard ou de nuage et de pluie; question que nous avons étudiée à l'aide du thermomètre électrique.

Le thermomètre électrique permet d'observer les températures à moins de un dixième de degré près, dans tous les cas où la lecture du thermomètre ordinaire n'est pas possible, lorsqu'il s'agit, par exemple, d'étudier : 1° la température de toutes les parties intérieures de l'homme et de celles des animaux, à l'état normal et à l'état pathologique, sans produire de lésions sensibles; 2° la distribution de la chaleur dans les couches supérieures du globe, dans les mers et les lacs; 3° les variations de température dans les végétaux et dans l'air à des hauteurs plus ou moins considérables au-dessus du sol.

Cet instrument fonctionne avec succès sans interruption, au Jardin des plantes, depuis 1863, concurremment avec le thermomètre ordinaire et le thermométrographe. Les résultats recueillis, en comparant toutes les observations, ont conduit à des rapports qui ne sont pas sans intérêt pour la météorologie, entre autres ce fait remarquable, qu'à 6 heures du matin, au nord, à $1^{m}33$ au-dessus du sol, et au midi, à 16 mètres, et à 21 mètres, au sommet d'un marronnier, au-dessus du sol, la température est exactement la même dans toutes les saisons, mais différente d'un jour à l'autre.

Ces considérations m'ont engagé à appliquer le principe du thermomètre électrique à l'hygromètre et au psychromètre, quand il s'agit de trouver la force élastique de la vapeur d'eau de l'air dans des lieux où la lecture de ces instruments ne serait pas possible.

L'hygromètre à condensation, dont le principe est dû à

Le Roi, de Montpellier, a été perfectionné d'abord par Daniel et ensuite par M. Regnault, qui en fait un instrument de précision ne laissant rien à désirer sous ce rapport.

Son usage repose sur la détermination du point de rosée, c'est-à-dire du dépôt de la rosée, à l'instant où la vapeur d'eau contenue dans l'air se précipite sur une surface d'argent polie, refroidie, ainsi que l'air ambiant, au degré où la tension de cette vapeur est à son maximum.

Ce rapport de la température de l'air refroidi et de celle de l'air non refroidi donne le degré d'humidité de l'air et la tension de la vapeur maximum au degré du point de rosée la tension de la vapeur à la température où l'on observe.

La détermination du point de rosée et celle des températures exigeant la présence de l'observateur près ou à peu de distance des instruments, il en résulte qu'il ne peut servir quand on a besoin de trouver l'humidité de l'air dans un lieu éloigné, au haut d'un arbre, au-dessus d'une rivière ou pendant la nuit. En substituant aux deux thermomètres un circuit thermo-électrique, composé d'un fil de fer et d'un fil de cuivre, dont les soudures sont fixées et soudées au bas des dés en argent, et en introduisant dans le circuit un galvanomètre, on détermine les températures avec le thermomètre électrique ainsi constitué, sauf de légères additions à y faire. On se passe alors des thermomètres ordinaires; mais on n'est pas dispensé, pour cela, de se trouver près de l'hygromètre pour relever le point de rosée. On obvie à cet inconvénient en appliquant le principe du thermomètre électrique au psychromètre de M. Gay-Lussac.

Cet instrument se compose de deux thermomètres dont le réservoir de l'un est sec et celui de l'autre toujours hu-

mide. La température de ce dernier diminue jusqu'à ce qu'on ait atteint le point de rosée ; à ce moment elle devient constante. La température de l'air sec, celle de l'air humide et la pression atmosphérique suffisent pour trouver la force élastique de la vapeur au moyen d'une formule ou d'une table psychrométrique qui évite la réduction.

La transformation du psychromètre ordinaire en psychromètre électrique s'opère comme il suit : on substitue aux deux thermomètres, qui sont indépendants l'un de l'autre, le circuit composé d'un fil de cuivre et d'un fil de fer, soudés bout à bout ; dans le circuit se trouve un galvanomètre à fil court. L'une des soudures est destinée à être placée dans une éprouvette remplie de mercure, dont on élève ou l'on abaisse la température pour ramener à zéro l'aiguille aimantée du galvanomètre. L'autre soudure se trouve dans l'endroit dont on veut trouver le degré d'humidité de l'air.

Avant d'indiquer les dispositions générales à adopter pour se livrer à des observations hygrométriques au moyen du circuit thermo-électrique, base du procédé, il y a plusieurs essais préliminaires indispensables à faire pour éviter toutes les causes d'erreur qui peuvent se présenter.

Dans un circuit formé d'un fil de cuivre et d'un fil de fer fonctionnant comme thermomètre électrique, la soudure libre dans l'air prend toujours très-exactement, et indique par conséquent la même température que celle qui est donnée par un thermomètre placé à côté, et dont l'échelle est divisée en dixièmes de degré ; cela a lieu quel que soit le diamètre des fils ; mais il n'en est plus de même quand il s'agit de mesurer le refroidissement produit par l'évaporation de

l'eau qui mouille la même soudure, refroidissement qui exige certaines précautions pour être le même que celui qui est indiqué par le psychromètre de M. Gay-Lussac.

Lorsque le réservoir du thermomètre commence à se refroidir, toute la masse du mercure et du verre participe à ce refroidissement, et la température ne devient constante que lorsqu'il atteint son maximum ou du moins celui correspondant à la tension de la vapeur qui se trouve dans l'air. Ce refroidissement est d'autant plus lent à s'effectuer que le tube de verre du thermomètre qui est mauvais conducteur a un diamètre plus gros; c'est pour ce motif qu'on le choisit ordinairement très-petit.

Quand il s'agit du refroidissement de la soudure, il n'en est pas tout à fait de même, attendu que, les deux métaux ayant une conductibilité pour la chaleur beaucoup plus grande que le verre, les parties refroidies par l'effet de l'évaporation reprennent aux parties voisines la chaleur qu'elles ont perdue, et cela de proche en proche jusqu'à une certaine distance. Il faut donc composer le circuit de deux fils métalliques d'un diamètre suffisant, et donner à la soudure une longueur convenable pour atteindre le but que l'on se propose, c'est-à-dire pour que le psychromètre et le psychromètre électrique marchent ensemble.

Dans un circuit métallique dont une des soudures doit être refroidie de manière à indiquer au thermomètre électrique un abaissement de température à celui qui est indiqué par le thermomètre mouillé, il faut remplir plusieurs conditions essentielles :

1° Les deux fils ne doivent pas être recouverts de caoutchouc jusqu'aux soudures, dans la crainte que la partie qui

est soustraite au contact de l'air ne fournisse pendant trop longtemps à la soudure que l'on refroidit la chaleur nécessaire pour réparer ses pertes ;

2° Les diamètres des fils doivent être choisis de manière à ne pas produire un semblable effet.

Quelques exemples suffiront pour guider les personnes qui voudraient faire usage du psychromètre électrique.

On a composé un circuit de deux fils d'une certaine longueur, ayant chacun un diamètre de 1mm8. Les soudures occupant une longueur de 2 centimètres, et dont toute la surface avait été bien étamée, pour éviter l'oxydation du fer, le reste des fils était recouvert d'une forte couche épaisse de caoutchouc qui ne faisait plus participer autant les fils aux variations de température de l'air. La soudure fut recouverte d'une enveloppe de toile fine tenue toujours humide, l'abaissement de température résultant de l'évaporation était de 4 ou 5 dixièmes de degré au-dessus de celui indiqué par le thermomètre mouillé du psychromètre dont la soudure s'était réchauffée aux dépens de la masse des fils recouverts de caoutchouc. On obvia à cet inconvénient en découvrant les fils sur une longueur de 6 centimètres, et en enroulant autour une bande de linge fin entretenue également constamment humide, au moyen d'une chantepleure disposée comme dans le psychromètre. Cette fois la différence n'était plus que de 0°1 ; les deux instruments étaient donc sensiblement comparables.

Avec des fils de 1 millimètre de diamètre, ces résultats ont été les mêmes.

Il résulte donc de là que le moyen de détruire complétement l'influence du fil métallique au-delà de la soudure

est de découvrir 5 ou 6 centimètres de ces fils et de les recouvrir d'un linge tenu constamment mouillé; avec cette précaution, on a la certitude d'obtenir des déterminations de température avec les deux instruments qui ne diffèrent que de 0°1 en plus ou en moins. Dans une des expériences de comparaison qui ont été faites dans un air très-humide on a eu :

Psychromètre ordinaire.	Température.	Degré d'humidité.
Thermomètre sec,	8°3	87°7
Thermomètre humide,	7,9	
Psychromètre électrique.		
Température de l'air,	8,3	89,0
Température de la soudure humide,	7,8	
Pression atmosphérique,		0m766

Il ne reste plus aucun doute sur la marche égale des deux instruments; c'est ce qui m'a engagé à faire plusieurs séries d'expériences, en août de l'année dernière, à Châtillon-sur-Loing (Loiret), dans un jardin entouré d'un mur de ville et en dehors d'une rivière, et où se trouvent des massifs d'arbres de première grandeur.

Voici les principaux résultats obtenus :

La soudure libre a été placée avec ses accessoires servant à évaluer les températures à 3 mètres au-dessus du sol, sur l'appui d'une croisée, et l'autre sèche, à 5 centimètres de la surface de plantes fourragères, hors du rayonnement solaire, et donnant lieu par conséquent à une émission incessante de vapeurs.

La température de l'air était donc la même aux deux stations, 18°, et la pression atmosphérique 755mm.

La soudure au-dessus des plantes fut parcourue de son réfrigérant, on obtint les résultats suivants :

Température de l'air,	18°
Température de la soudure mouillée,	15,4
Différence,	2°6

La table psychrométrique a donné :

Tension de la vapeur,	11mm60
Degré d'humidité,	74h 6

Le psychromètre a donné sensiblement les mêmes nombres. On détermina ensuite le degré d'humidité de l'air du lieu où se trouvait le thermomètre électrique, le résultat fut le même. On voit par là que le degré d'humidité était le même qu'au-dessus des plantes potagères, et à 3 mètres au-dessus du sol.

Dans une deuxième série d'expériences faites immédiatement après, la soudure extérieure avec son réfrigérant fut placée à quelques centimètres au-dessus de la surface d'une rivière éloignée de 4 mètres des plantes potagères. La seconde soudure était toujours dans le même lieu.

En opérant comme ci-dessus on a obtenu les résultats suivants :

Température de l'air,	18°2
Température de la capsule remplie d'eau,	15,7
Différence,	2,5

La table psychrométrique a donné :

Tension de la vapeur,	11mm68
Degré d'humidité,	7h 55

Dans une troisième série d'expériences, la soudure d'abord, sans son réfrigérant, puis avec son réfrigérant au-dessus d'un tilleul de 6 mètres de hauteur à quelques centimètres des feuilles et hors du rayonnement solaire et à 5 mètres de l'autre station où se trouvait l'électromètre électrique, on a fait les déterminations suivantes :

Température de l'air avant le réfrigérant,	18°3
Température après,	15,8
Différence,	2,5
Tension de la vapeur dans l'air,	11mm76
Degré d'humidité,	74h 8

En rapprochant ces résultats pour les comparer on a formé le tableau suivant :

Tableau n° 1.

STATIONS.	TENSION de la VAPEUR.	DEGRÉ D'HUMIDITÉ.
Au-dessus des plantes.	mm 11,60	74°6
Au-dessus d'une rivière.	11,68	75,5
Au-dessus d'un tilleul	11,76	74,8
Dans l'air à 3m au-dessus du sol. . . .	11,60	74,6

L'accord qui règne entre tous ces résultats obtenus à des stations différentes dans l'air, à 3 mètres au-dessus du sol,

au-dessus des plantes potagères, d'une rivière et d'un tilleul de 6 mètres de hauteur, prouve que les vapeurs, au fur et à mesure qu'elles se formaient dans un rayon de 8 mètres, à des stations, à des hauteurs et dans des conditions différentes, se mêlaient à l'air ambiant, de manière à produire un état hygrométrique moyen. En est-il de même à des distances plus considérables, surtout quand il existe dans le voisinage des bois? Il est bien difficile de répondre à cette question, attendu que les effets doivent varier avec le relief du sol, sa nature qui influe par ses propriétés physiques, avec les vents, suivant qu'ils sont secs ou humides, et peut-être suivant d'autres causes. Ce sont là des recherches à faire qui intéressent vivement la climatologie.

J'ai fait aussi une addition à l'hygromètre de M. Regnault en substituant les deux sondes aux deux thermomètres qui accusent l'un la température de l'air sec, l'autre celle de l'air refroidi jusqu'au point de rosée. Cette addition a l'avantage de déterminer exactement la température de dés en argent, sans l'intermédiaire de l'éther pour le dé sur lequel a lieu le point de rosée.

Cette substitution s'opère comme il suit : on soude la partie inférieure de chaque cylindre en argent fermé avec une calotte hémisphérique une petite douille en argent dans laquelle on introduit avec frottement une des soudures d'un thermomètre électrique, comme il a été dit en décrivant le psychromètre électrique; une vis de pression sert à augmenter le contact. Chaque soudure prend la température de la capsule, et on opère alors comme ci-dessus. Cet hygromètre indique une nouvelle application du thermomètre électrique.

Voyons maintenant quelle est l'influence des causes locales sur la formation de la pluie. En comparant ensemble la quantité d'eau tombée, sous diverses latitudes, en Europe, en Asie et en Amérique, et que nous trouvons dans le travail de M. de Gasparin sur les pluies, on trouve que ces quantités vont en diminuant en s'avançant vers les pôles, mais que cette diminution est contre-balancée quelquefois par des influences locales dont on n'a pas cherché toujours à se rendre compte.

J'en citerai quelques exemples :

1° A Seringapatnam, il règne une sécheresse qui contraste singulièrement avec l'état udométrique des autres localités de l'Inde ; en effet, il tombe annuellement en moyenne :

A Seringapatnam,	601,6 mm	de pluie.
A Bombay,	2350,0	id.
A Calcutta,	1928,6	id.

2° Les pluies considérables de l'Italie, au nord des Apennins, comparées à celles tombées sous les mêmes latitudes ou sous des latitudes plus basses offrent également des contrastes remarquables.

Du 45 au 47° de latitude, l'Italie, au Nord de l'Apennin, donne	1336,9 mm	d'eau.
Du 37 au 40°, l'Italie, au Sud de l'Apennin,	930,9	id.
Du 37 au 43°, dans la vallée du Rhône,	781,0	id.

Bergue, sous le 60° de latitude en Scandinavie, fournit une quantité d'eau annuelle égale à 2,250 millimètres, rappelant celle de la zone torride de Bombay, par exemple, qui est de 2,350 millimètres, tandis qu'en Scandinavie le chiffre ne s'élève qu'à 478 millimètres.

L'influence des causes locales devient encore plus palpable quand on compare les quantités d'eau tombées sur des points de l'ancien continent qui se prolongent du Sud au Nord sous des méridiens peu différents.

Latitude.		mm
5°5	Christianborg (Guinée),	549,0
8,2	Sierra-Léone,	2191,0
32,27	Madère,	557,0
38,42	Lisbonne,	608,1
44,50	Bordeaux,	650,0
46,9	La Rochelle,	652,2
47,13	Nantes,	1292,0
55,0	Copenhague,	468,0
60,24	Bergen,	2250,40

En s'éloignant des côtes de l'Océan jusqu'en Russie, on trouve une diminution des pluies.

	mm
Angleterre, à l'Ouest, donne,	920,0
Angleterre, à l'Est,	686,0
Côtes de l'Ouest, de Lisbonne à Hambourg,	743,0
France méridionale, en y comprenant l'Italie au Sud des Apennins,	814,3
L'Italie au Nord des Apennins,	1121,3
La France septentrionale avec la Suisse et l'Allemagne,	678,0
La Scandinavie, en supprimant Rekiavick et Bergen, expositions insulaires exceptionnelles,	476,6
Russie,	364,1

Ces chiffres sont significatifs; ils indiquent, non-seulement une moindre quantité de pluie en s'avançant dans le continent, mais encore des influences locales faciles à apercevoir; en effet :

La côte ouest de l'Angleterre, qui est exposée d'abord aux

vents du Sud-Ouest, recoit les premières averses qui sont les plus fortes; ces mêmes vents, encore chargés de vapeurs en traversant l'île, rencontrent des montagnes, des monticules, des bois qui se comportent comme réfrigérants, de sorte qu'ils arrivent sur le côte Est ayant perdu déjà une certaine quantité des vapeurs des continents et continuent à en perdre successivement en s'avançant dans l'intérieur du continent; telle est l'explication que l'on donne de la diminution des pluies en s'avançant dans l'intérieur des continents.

On rapporte à la même cause la différence des pluies que l'on observe au Nord et au Sud des Apennins, agissant comme réfrigérants, dès l'instant que les vents pluvieux viennent les heurter.

INFLUENCE DES HAUTEURS SUR LES PLUIES.

On a constaté dans toutes les observations de l'Europe que de deux udomètres placés dans le même lieu, à des hauteurs différentes, celui qui est le moins élevé, ou celui qui est le plus près du sol recueille plus d'eau; on attribue cette différence à ce que les gouttes de pluie en tombant entraînent l'humidité des couches inférieures; doit-on en tirer la conséquence que la quantité de pluie doive diminuer en s'élevant dans les montagnes ?

L'observation conduit à une conclusion contraire. Nous allons en citer des exemples remarquables, d'après M. de Gasparin.

En comparant ensemble les observations faites au grand Saint-Bernard avec celles recueillies dans les pays placés au bas des Alpes, on trouve en moyenne :

Au grand Saint-Bernard,	$1512^{mm},9$
A Milan,	966,5
A Berne,	1138,7
A Genève,	752,7

Le chiffre élevé du grand Saint-Bernard doit-il être attribué au défilé des Alpes qui, en facilitant le passage des masses d'air humides, augmente les quantités de neige ou de pluie, ou bien à la loi que nous indiquerons plus loin de l'accroissement des pluies dans les montagnes avec la hauteur ; nous verrons que ces deux causes peuvent y contribuer.

Pendant huit années d'observations, il est tombé en moyenne annuellement à Catane $713^{mm}9$ d'eau, tandis qu'à Nicolosi, sur la pente de l'Etna, à 746 mètres au-dessus de Catane, on n'a eu que $708^{mm}0$, à peu près la même quantité.

Ces deux exemples indiquent des résultats inverses dus à des causes locales inaperçues.

En remontant les vallées du Rhône, de la Saône, du Danube, du Pô et du Rhin, on trouve que dans celle du Danube, du Rhin et du Pô, la quantité d'eau de pluie augmente avec l'altitude; dans la vallée du Rhône elle est interrompue par le chiffre élevé de Viviers, anomalie due peut-être à la position de la ville dans un défilé, où les nuages éprouvent une compression en s'écoulant.

M. de Gasparin a réuni dans un seul tableau les lieux où il tombe plus d'un mètre d'eau; de la comparaison des quantités d'eau tombées, il tire la conséquence que les quantités d'eau pluviale augmentent en approchant des Alpes scandinaviennes, du mont Blanc, du Jura, des Cévennes et des

Apennins ; de là la conclusion que deux circonstances principales paraissent influencer sur la quantité annuelle de pluie :

« 1° La situation d'un lieu dans une enceinte fermée du « côté opposé aux vents humides que les nuages franchis- « sent difficilement et contre lesquels ils s'amoncellent ; 2° le « trajet des vents humides à travers un pays haut et froid où « se fait la réfrigération de la vapeur, et où ils sont obligés « de suivre une gorge formée de parois élevées. »

J'ajouterai qu'en examinant la position géographique des pluies, on trouve que les lieux où il tombe le plus d'eau se trouvent sur les faces sud et sud-ouest des montagnes formant obstacles aux vents pluvieux. Ces faits s'expliquent très-bien dans la théorie de M. Babinet.

Les grandes chaînes de montagnes exercent une telle influence qu'en comparant les lieux à fortes pluies avec les directions de ces chaînes, on voit que les reliefs de ces dernières représentent réellement les points pluvieux sur une carte géographique.

Les conséquences auxquelles M. de Gasparin a été conduit dans la discussion des observations udométriques faites dans toutes les parties de l'Europe vont recevoir une nouvelle confirmation dans les résultats obtenus par M. Belgrand dans ses recherches sur le régime de la pluie dans le bassin de la Seine et dans les bassins de ses affluents.

DU RÉGIME DE LA PLUIE DANS LE BASSIN DE LA SEINE.

Le bassin de la Seine.

Le bassin de la Seine, abstraction faite des vallées et des érosions diluviennes, se compose, depuis la mer jusqu'à la vallée d'Oise, d'un vaste plateau presque horizontal.

Les vents pluvieux, comme on l'a vu précédemment, deviennent moins humides en s'éloignant de la mer, et les quantités de pluie vont, par conséquent, en diminuant ; aussi trouve-t-on que dans la vallée d'Oise les quantités d'eau tombées sont moindres que celles recueillies à Fatonville sur le bord de la mer ; en effet, pendant les années 1861, 1862, 1863, 1864, on a eu en moyenne :

A Fatonville,	708,9 mm
Vallée de l'Oise,	485,0
A Paris,	470,0

M. Belgrand fait remarquer que la moyenne du bassin de l'Oise a été calculée avec des observations faites sur toute l'étendue de la rivière, seul moyen, effectivement, de faire disparaître en partie les différences résultant de l'inégalité entre les altitudes des udromètres relativement au sol.

En partant de Paris, le plateau se relève très-doucement jusqu'à la Champagne. Aussi à peine l'augmentation dans l'altitude compense-t-elle l'éloignement de la mer. Le minimum de pluie se maintient jusqu'à la limite de la Champagne sèche. On en trouve des preuves manifestes dans le tableau suivant que nous empruntons à M. Belgrand.

A partir de la Champagne humide, l'altitude des terrains oolitiques de la Bourgogne se relève rapidement, et celle

Tableau n° 2.

BASSIN DE LA SEINE.

	1861	1862	1863	1864
Melun (Brie)	411^{m}3	520^{m}8	349^{m}1	371^{m}3
Confians (Champagne).	407,0	432,5	349,3	293,3
Barberey (limite de la Champagne). .	369,3	480,3	426,8	348,9
VALLÉE D'YONNE.				
Saint-Martin	452,8	560,0	576,6	468,9
Sens	475,8	616,8	535,3	439,0
Joigny	480,3	603,8	648,2	453,6
Laroche.	437,0	658,1	697,4	467,8
VALLÉE DE SEINE ET D'YONNE.				
Confians-Sens (Moyennes).	441,4	524,4	442,3	366,1
Barberey-Laroche (Moyennes).	403,1	569,2	562,1	408,2
VALLÉE D'OISE.				
Oise	478,5	568,7	442,2	451,2
BASSIN D'OISE.				
Hirson, pied des Ardennes. (Altitude 196^{m}26)	631,66	781,01	688,9	522,5
BASSIN DE LA SEINE PROPREMENT DITE.				
Châtillon-sur-Seine. (Altitude manque).	506,9	609,7	656,5	616,8
Chanceaux. (Altitude manque, environ 500^{m}).	776,9	917,8	925,5	811,70

du Morvan encore davantage ; aussi voit-on l'accroissement de la pluie augmenter.

Les observations recueillies dans le bassin de l'Oise, de la Seine, de l'Yonne ou la Cure, et du Cousin, qui se trouvent dans le tableau suivant, mettent ce fait en évidence.

Tableau n° 8.

BASSIN D'YONNE.

VALLÉES DE L'ARMANÇON, DU SERAIN, DE LA BRENNE ET DE L'OZE.

	Mètres.	1861	1862	1863	1864
Tonnerre (Armançon). Altitude.	140,51	»	746m9	769m0	521m6
Pouilly (Armançon). Altitude. .	395,50	556m7	7212	762,4	617,9
Montbard (Brenne). Altitude . .	218,36	540,0	644,4	616,0	554,0
Venarcy (Brenne). Altitude. . .	238,14	»	709,7	942,3	405,5
Gros-Bois (Brenne). Altitude . .	411,08	602,5	688,8	771,3	676,6
Thenissey (Oze). Altitude. . . .	300,00	529,9	690,3	801,5	677,0
Saulieu (Serain-Morvan). Altitude.	539,00	865,1	1017,7	1025,7	707,6
VALLÉE DE LA CURE ET DU COUSIN.					
Avallon (Cousin). Altitude . . .	240,25	475,0	639,0	590,8	555,7
Vezelay (Cure). Altitude.. . . .	»	581,0	805,2	715,6	664,9
Les Settons (Cure-Morvan). Altitude	596,68	1394,1	1679,6	1501,2	1399,4
VALLÉE D'YONNE.					
Auxerre. Altitude.	122,30	556,0	643,7	732,3	499,9
Clamecy. Altitude..	147,06	552,7	689,2	716,7	503,0
Pannetière. Altitude	276,88	669,9	844,9	533,4	716,2
Lacollancelle. Altitude	279,23	623,2	754,2	716,6	702,0

Mais si le bassin de la Seine, au lieu d'être sillonné par les vallées de l'Oise, de l'Yonne, de la Cure et du Cousin,

comme le dit M. Belgrand, était formé d'un plateau s'étendant de la mer aux plaines de Champagne, puis d'une chaîne de montagnes s'élevant par un plan incliné sans déchirures ni vallées, depuis la Champagne jusqu'aux crêtes de la Côte-d'Or et du Morvan, la quantité d'eau de pluie irait en diminuant depuis la mer jusqu'au pied des montagnes; ensuite elle augmenterait depuis la fin de la plaine jusqu'à la ligne de faîte des montagnes, comme il le remarque judicieusement. Mais il n'en est pas ainsi ; les plateaux et les pentes des montagnes sont déchirés par des vallées profondes, lesquelles sont reliées entre elles par de grandes dépressions; alors les vents pluvieux suivent de préférence les vallées et les dépressions comme tendent à le prouver les observations de M. Vignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, lesquels montrent qu'il tombe plus de pluie dans les vallées que sur les plateaux voisins ; à ces exceptions près, on peut admettre la loi qu'en général la hauteur d'eau dans l'udomètre croît avec l'altitude. On trouve, en effet, qu'il tombe plus d'eau dans le bassin de l'Yonne qui est le plus élevé, vient ensuite celui de la Seine, puis celui de l'Oise, qui est la région la plus basse.

Dans les bassins dont il est question, on trouve quelquefois que dans deux localités très-voisines, ayant presque la même altitude, les hauteurs de pluie varient dans le rapport de 1 : 2.

Plusieurs causes peuvent être invoquées pour expliquer cette différence, notamment les abris; M. Belgrand admet avec raison que toute cause qui fait dévier les nuages pluvieux de leur direction influe sur les pluies. Il cite à ce sujet les faits suivants :

Les vents pluvieux étant déviés par les montagnes du Mor-

van, il passe beaucoup plus de nuages à Vezelay, qui est à l'extrémité du revers occidental, qu'à Avallon, sur le revers oriental. Ainsi, en 1861, 1862, 1863, 1864, il est tombé en moyenne $691^{mm}7$ de pluie à Vezelay, et $562^{mm}6$ à Avallon, sur le Cousin. De semblables contrastes se remarquent dans d'autres contrées. Les nuages à grêle se comportent de même.

Diverses explications ont été données de ce fait; voici celle que M. Belgrand a adoptée :

« Les masses d'air en mouvement suivent, comme les li-
« quides, en se déplaçant, les chemins où elles trouvent le
« moins de résistance, le moins de frottement, c'est-à-dire
« les lignes de thalweg.

« Dans un fleuve débordé qui couvre toute une vallée,
« pour une section donnée, il passe beaucoup plus d'eau
« au-dessus du thalweg que sur les rives, parce que la vi-
« tesse d'écoulement y est beaucoup plus grande.

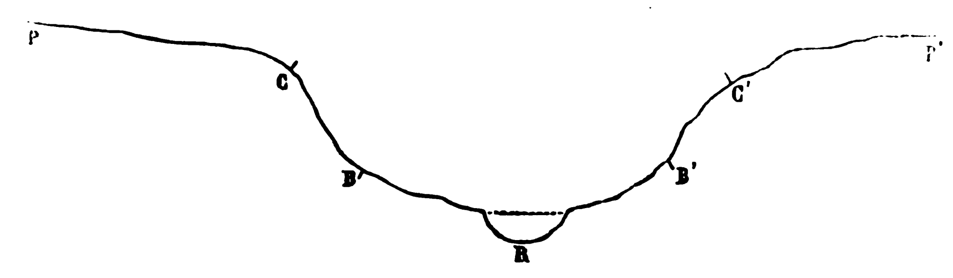
« Il en est de même dans le mouvement des vents plu-
« vieux.

« Il passe beaucoup plus d'air dans un temps donné entre
« deux lignes verticales, équidistantes, au-dessus d'une
« vallée, que sur les plateaux voisins ; les nuages sont en-
« traînés dans le chemin par cette accélération de vitesse, et
« il y tombe une plus grande quantité de pluie. »

Le principe de M. Belgrand est exact ; mais il faut prendre aussi en considération celui mis en avant par M. Babinet, et qui joue probablement le rôle principal.

Soit PCBR B'C'P' une coupe dans un terrain dans lequel se trouvent une vallée et une rivière R ; supposons qu'une masse d'air pluvieux vienne frapper ce terrain perpendiculairement à la coupe ; la vallée BB' donnera un libre écoule-

ment à cette masse d'air; mais arrivée sur les parties BC et BC' elle sera arrêtée, refoulée sur elle-même; partie s'élèvera, partie s'écoulera sur les flancs de la montagne dont une por-



tion prendra la direction de la vallée et viendra se joindre à celle qui y arrive directement; de là un écoulement plus rapide dans la vallée, une plus grande masse d'air affluente, refoulement sur les flancs BCP, B'C'P, transports sur les plateaux de l'air refroidi; cet état de choses tendant à refroidir les masses d'air pluvieux, il s'ensuit que si elles sont à leur maximum de saturation, il y a pluie.

Il résulte bien du travail de M. Belgrand que les quantités de pluie augmentent avec la hauteur dans les montagnes et sont plus grandes dans la vallée que sur les plateaux adjacents.

PLUIES DANS LES BASSINS DE LA LOIRE ET DE SES AFFLUENTS.

Nous allons retrouver dans les bassins de la Loire et de ses affluents les mêmes lois que dans les bassins dont nous venons de parler.

Les udomètres placés dans ces bassins n'étant pas tous à la même hauteur au dessus du sol, les quantités de pluie recueillies ne sont pas rigoureusement comparables entre elles, comme nous l'avons déjà fait remarquer, en parlant du travail de M. Belgrand, sur le régime des eaux dans le bassin de la Seine ; mais, en calculant la moyenne de ces quantités, comme nous allons l'indiquer, on écarte une partie des erreurs résultant de cette inégalité dans les altitudes ; de cette manière les rapports trouvés représentent très-approximativement les rapports réels. Voici comment on opère : on partage en deux ou trois parties les chiffres représentant les plus fortes hauteurs d'eau tombées dans l'année. La première partie renferme les hauteurs correspondant aux altitudes les plus élevées; la seconde les hauteurs qui viennent après, ainsi de suite. En prenant les sommes on en déduit les rapports entre les quantités de pluie tombées dans la partie supérieure, la partie moyenne et la partie inférieure de chaque vallée.

On trouvera ci-après les données qui ont mis à même d'établir ces rapports.

LOIRE SUPÉRIEURE

EN AMONT DU BEC D'ALLIER.

Tableau n° 4.

ANNÉES.	MONTPEZAT.	LE PUY.	TENCE.	SAINT-PAULIEN.	BAS-EN-BASSET.	LE PILAT.	SAINT-ÉTIENNE.	FORTUNIÈRES.	MONTBRISON.	NOIRÉTABLE.	PANISSIÈRE.	FEURS.	MONTAGNY.
	LIEUX OU SONT PLACÉS LES UDOMÈTRES.												
	ALTITUDE DES UDOMÈTRES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.												
	1000m	625m	838m	802m	457m	1400m	545m	1200m	400m	716m	630m	338m	668m
	QUANTITÉS DE PLUIE TOMBÉES.												
1859	2m35	0m53	1m09	0m38	0m795	0m705	0m501	1m155	0m59	0m89	0m68	0m67	0m82
1860	1,94	0,59	1,37	0,79	1,03	1,36	0,80	1,39	0,71	1,06	0,95	0,74	1,20
1861	1,44	0,59	0,51	0,63	0,56	0,91	0,61	0,69	0,41	0,52	0,59	0,49	0,65
1862	2,08	0,80	0,87	0,85	0,67	1,41	0,87	0,97	0,64	0,91	0,96	0,74	1,00
1863	2,11	0,53	0,81	0,49	0,46	1,11	0,72	0,70	0,49	0,50	0,79	0,64	0,98
1864	1,93	0,72	0,73	0,52	0,62	1,19	0,83	0,51	0,57	0,61	0,86	0,69	0,96
1865	1,86	0,59	0,67	0,66	0,61	1,13	0,76	4,15	0,60	0,60	0,85	0,67	0,96
• 1866	2,028	0,882	0,923	0,695	0,767	1,311	0,830	1,423	0,841	0,863	1,056	0,918	1,154
Moyennes..	1,960	0,633	0,872	0,876	0,820	1,140	0,861	0,998	0,606	0,617	0,841	0,695	0,965

ANNÉES.	ROANNE.	SAINT-CLÉMENT.	CHAROLLES.	SAULIEU.	ARNAY-LE-DUC.	AUTUN.	DIGOIN.	DOMPIERRE.	LUZY.	CHATILLON.	DECIZE.	PRÉMERY.	NEVERS.
	LIEUX OU SONT PLACÉS LES UDOMÈTRES.												
	ALTITUDE DES UDOMÈTRES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.												
	280m	485m	316m	510m	370m	361m	241m	240m	270m	260m	193m	240m	180m
	QUANTITÉS DE PLUIE TOMBÉES.												
1859	0m56	»	0m755	0m95	0m66	0m79	0m665	0m68	0m62	»	0m72	0m705	0m53
1860	0,83	1m38	1,20	1,35	1,13	1,22	0,97	0,90	0,94	1m15	0,925	1,02	0,76
1861	0,54	0,73	0,68	0,81	0,51	0,54	0,37	0,44	0,54	0,73	0,59	0,63	0,41
1862	0,76	0,98	0,92	1,02	0,68	0,66	0,83	0,75	0,78	0,91	0,72	0,75	0,59
1863	0,60	0,97	»	1,02	0,68	0,66	0,69	0,71	0,65	0,79	0,64	0,73	0,58
1864	0,595	0,88	»	0,705	0,545	0,61	0,64	0,63	»	0,70	0,63	0,64	0,50
1865	0,58	0,85	0,93	0,88	0,69	»	0,72	0,72	»	0,89	0,74	0,73	0,51
1866	0,853	1,203	1,342	1,483	1,079	»	1,059	1,090	1,110	1,235	1,043	1,043	0,876
Moyennes..	0,665	»	»	1,000	0,749	»	0,744	0,740	»	»	0,750	0,780	0,594

LOIRE

DU BEC D'ALLIER A LA MER.

Tableau n° 5.

ANNÉES.	LIEUX OU SONT PLACÉS LES UDOMÈTRES.									
	GYVRY.	SAINT-SATUR.	GIEN.	ORLÉANS.	BLOIS.	TOURS.	BRESSUIRE.	PONTS-DE-CÉ.	NANTES.	SAINT-NAZAIRE.
	ALTITUDES DES UDOMÈTRES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.									
	173m	150m	130m	100m	73m	57m	187m	22m	9m	0m
	QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES.									
1859	0m62	0m725	0m54	0m65	0m74	0m68	0m87	0m74	0m755	»
1860	0,84	0,90	0,545	0,73	0,94	0,895	0,92	0,81	0,77	0m74
1861	0,61	0,59	0,40	0,44	0,65	0,57	0,62	0,57	0,63	0,57
1862	0,70	0,65	0,47	0,67	0,68	0,59	0,595	0,63	0,57	0,61
1863	0,77	0,67	0,49	0,60	0,64	0,53	0,57	0,54	0,56	0,65
1864	0,57	0,53	0,38	0,45	0,60	0,50	0,555	0,60	0,64	0,66
1865	0,68	0,70	0,50	0,60	0,78	0,67	0,83	0,68	0,87	0,84
1866	0,988	1,077	0,623	0,739	0,887	0,611	0,951	0,748	0,761	0,794
Moyennes.	0,486	0,554	0,470	0,610	0,740	0,630	0,735	0,532	0,555	0,694

En prenant dans le tableau de la Loire supérieure jusqu'au bec d'Allier les quantités d'eau tombées dans celles des huit localités dont les altitudes s'élèvent de 630 mètres à 1,200 mètres, puis les douze stations dont les altitudes sont de 180 mètres à 545 mètres, on trouve pour la

partie supérieure du bassin de la Loire : Moyenne par localité, $0^{m}603$.

Partie supérieure du bassin du bec d'Allier : Moyenne par localité, $0^{m}988$.

Ici l'accroissement de pluie en remontant la Loire est bien manifeste.

BASSIN DE L'ALLIER.

Tableau n° 6.

ANNÉES.	LIEUX OU SONT PLACÉS LES UDOMÈTRES.															
	LANGOGNE.	SANGUES.	LAUGEAC.	MURAT.	MASSIAC.	LA CHAISE-DIEU.	BRIOUDE.	BESSE.	AMBERT.	CLERMONT.	THIERS.	LE BOUCHET.	ÉBREUIL.	CHANTELLE.	VICHY.	MOULINS.
	ALTITUDES DES UDOMÈTRES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.															
	910^{m}	980^{m}	492^{m}	924^{m}	540^{m}	1075^{m}	415^{m}	1028^{m}	543^{m}	385^{m}	413^{m}	485^{m}	310^{m}	297^{m}	164^{m}	221^{m}
	QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES.															
1859	$0^{m}625$	$0^{m}55$	$0^{m}505$	$0^{m}56$	$0^{m}48$	$0^{m}655$	$0^{m}58$	$0^{m}875$	$0^{m}58$	$0^{m}505$	$0^{m}47$	$0^{m}70$	0,525	$0^{m}60$	0,625	$0^{m}54$
1860	0,75	0,825	0,71	0,80	0,79	0,91	0,835	0,835	0,94	0,77	1,16	0,97	0,68	0,74	0,92	0,74
1861	0,54	0,59	0,57	0,52	0,46	0,58	0,46	0,47	0,58	0,38	0,53	0,49	0,33	0,39	0,48	0,41
1862	0,92	0,80	0,95	0,80	0,74	0,90	9,85	0,55	0,87	0,63	1,02	0,76	0,16	0,55	0,75	0,59
1863	0,84	0,46	0,54	0,73	0,54	0,60	0,47	0,62	0,71	0,47	0,85	0,74	0,43	0,47	0,64	0,49
1864	0,93	0,46	0,66	0,54	0,46	0,76	0,51	0,59	0,73	0,48	0,89	0,64	0,41	0,53	0,72	0,53
1865	0,67	0,56	0,49	0,71	0,58	0,61	0,43	0,78	0,65	0,44	0,77	0,70	0,38	0,43	0,62	0,52
1866	1,033	0,774	0,779	0,901	0,765	0,951	0,956	0,934	1,032	0,558	1,061	1,035	0,599	0,767	0,978	0,819
Moyennes...	0,789	0,626	0,650	0,695	0,690	0,745	0,636	0,706	0,743	0,521	0,836	0,750	0,476	0,156	0,722	0,800

On a partagé ce bassin en deux parties :

Partie inférieure, de 164 à 543 mètres ; onze localités, en moyenne par localité, 0m648.

Partie supérieure, de 924 mètres d'altitude à 1,075 mètres ; cinq localités, en moyenne par localité, 0m712.

BASSIN DU CHER.

Tableau n° 7.

ANNÉES.	LIEUX OU SONT PLACÉS LES UDOMÈTRES.											
	AUZANCE.	CHAMBON.	MONTLUÇON.	HÉRISSON.	CULAN.	ISLE-SUR-MARMANDE.	SAINT-AMAND.	BOURGES.	ISSOUDUN.	CHAPELLE D'ANGILLON.	BRINON.	SELLES-SUR-CHER.
	ALTITUDES DES UDOMÈTRES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.											
	564m	334m	203m	238m	274m	240m	164m	151m	139m	196m	138m	90m
	QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES.											
1859	0m81	0m72	0m59	0m64	0m79	0m48	0m58	0m72	0m75	0m89	0m84	0m60
1860	1,24	0,87	0,84	0,78	0,86	0,67	0,65	0,86	0,82	1,17	0,91	0,65
1861	0,75	0,59	0,595	0,58	0,50	0,445	0,495	0,495	0,43	0,73	0,59	0,39
1862	0,98	0,79	0,81	0,75	0,84	0,61	0,76	0,61	0,66	0,92	0,83	0,53
1863	0,83	0,66	0,62	0,64	0,63	0,56	0,61	0,63	0,61	0,93	0,74	0,51
1864	0,81	0,62	0,55	0,69	0,65	0,47	0,51	0,49	0,51	0,66	0,53	0,47
1865	0,95	0,72	0,65	0,66	0,79	0,62	0,70	0,66	0,79	0,65	0,81	0,57
1866	1,162	0,842	0,761	0,818	0,756	0,735	0,808	0,855	0,873	»	»	0,635
Moyennes. .	0,816	0,714	0,676	0,695	0,750	0,574	0,627	0,667	0,630	0,843	0,750	0,668

Les localités où sont les udomètres ont été partagées en deux parties.

Altitudes de 90 à 196 mètres ; six localités, moyenne des quantités d'eau tombées 0^m665.

Altitudes de 203 à 504 mètres : dans ce bassin, la loi se vérifie en moyenne.

BASSIN DE L'INDRE.

Tableau n° 8.

ANNÉES.	LIEUX OU SONT PLACÉS LES UDOMÈTRES.		
	SAINTE-SÉVÈRE.	CHATEAUROUX.	LOCHES.
	ALTITUDES DES UDOMÈTRES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.		
	258^m	142^m	73^m
	QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES.		
1859	0^m73	0^m80	0^m70
1860	0,90	0,84	0,82
1861	0,53	0,45	»
1862	0,81	0,70	0,57
1863	0,70	0,62	0,54
1864	0,55	0,43	0,48
1865	0,73	0,76	0,74
1866	0,885	0,826	0,690
Moyennes.	0,730	0,677	0,648

Trois localités seulement. Le tableau ci-dessus montre

que la pluie augmente avec l'altitude ; la quantité tombée est en moyenne pour le bassin de 0^m685.

BASSIN DE LA CREUSE.

Tableau n° 9.

ANNÉES.	LIEUX OU SONT PLACÉS LES UDOMÈTRES.								
	FELLETIN.	AHUN.	BOUSSAC.	BÉNÉVENT.	DUN.	BELLAC.	SAINT-BENOIT.	LE BLANC.	LA HAYE.
	ALTITUDES DES UDOMÈTRES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.								
	520^m	450^m	340^m	470^m	365^m	240^m	220^m	85^m	50^m
	QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES.								
1859	0^m93	0^m755	0^m875	1^m08	1^m03	1^m105	0^m78	0^m859	0^m54
1860	1,25	1,105	0,96	1,35	1,09	1,30	0,85	0,86	0,59
1861	0,65	0,62	0,57	0,71	0,70	0,80	0,57	0,58	0,46
1862	0,83	0,86	1,02	1,03	1,11	0,03	0,74	0,79	0,44
1863	0,84	0,62	0,74	0,93	0,82	0,83	0,61	0,52	0,44
1864	0,66	0,49	0,58	0,79	0,62	0,83	0,54	0,50	0,38
1865	0,95	0,69	0,86	1,09	0,85	1,12	0,69	0,70	0,54
1866	1,122	0,789	0,935	1,414	1,199	1,324	1,164	0,830	0,526
Moyennes. . .	0,903	0,742	0,692	1,050	0,930	1,040	0,735	0,720	0,490

Quatre localités inférieures, de 50 à 240 mètres ; moyenne par localité, 0^m746.

Quatre localités dans la partie supérieure, variant en alti-

tude de 385 à 520 mètres; moyenne par station, 0^m906.

Il y a accroissement de pluie avec l'altitude.

BASSIN DE LA VIENNE.

Tableau n° 10.

ANNÉES.	LIEUX OU SONT PLACÉS LES UDOMÈTRES.						
	EYMOUTIERS.	PONTARION.	SAINT-LÉONARD.	LIMOGES.	CONFOLENS.	LUSSAC.	POITIERS.
	ALTITUDES DES UDOMÈTRES AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.						
•	452^m	436^m	370^m	218^m	130^m	71^m	112^m
	QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES.						
1859	1^m18	1^m11	0^m91	1^m175	1^m14	0^m78	0^m90
1860	1,46	1,42	1,15	1,43	1,36	0,99	0,80
1861	0,79	0,74	0,63	0,70	0,71	0,51	0,61
1862	1,01	1,015	0,92	0,91	0,85	0,64	0,34
1863	0,96	0,94	0,82	0,74	0,72	0,52	0,18
1864	0,64	0,72	0,63	0,59	0,725	0,53	0,16
1865	1,06	1,11	1,01	0,99	1,00	0,75	0,21
1866	1,348	1,260	1,059	1,065	1,110	0,881	0,687
Moyennes. .	1,056	1,040	0,890	0,950	0,951	0,700	0,486

Quatre localités composent la partie inférieure du bassin de la Vienne, l'altitude variant de 71 à 218 mètres; moyenne par localité, 0^m772.

Trois localités composent la partie supérieure, les altitudes varient de 370 à 452 mètres; moyenne par localité, 0^m953.

On voit donc que dans les cinq bassins, la quantité de pluie tombée augmente en moyenne avec l'altitude.

Il est donc bien démontré maintenant que la quantité d'eau tombée, en moyenne, va en augmentant dans les bassins avec l'altitude, mais non pas dans un rapport proportionnel à la différence de niveau, comme il était du reste facile de le prévoir. Nous en citerons quelques exemples :

Dans la Loire supérieure, à Monpezat, pour 1,000 mètres d'élévation, il y a 1^m960 de pluie, tandis que dans l'Allier, pour 1,075 mètres d'élévation, il n'y a que 0^m690 de pluie.

Dans la Loire supérieure, à Saullieu, pour 310 mètres d'élévation, il y a 1,000 mètres d'eau, tandis qu'à Massiac (bassin de l'Allier), pour 540 mètres d'altitude il y a 0^m690 d'eau.

Pour expliquer ces différences, il ne faut pas perdre de vue que la quantité d'eau tombée dans les bassins et les vallées dépend non-seulement de l'altitude, mais encore de leur direction par rapport aux vents de pluie, de leur largeur, de la rapidité des vents et des abris, etc., etc.

On voit par là combien il est difficile d'établir des lois générales représentant la distribution des pluies dans une contrée.

DE L'INFLUENCE DES ABRIS.

Si l'on veut se rendre compte du mode d'influence que les montagnes exercent sur les pluies, il faut voir d'abord com-



ment les montagnes et même les bois agissent contre les vents.

Une montagne, un bois, un obstacle quelconque placé perpendiculairement à la direction du vent s'oppose à la propagation, en raison de son élévation et de l'angle sous lequel il souffle.

Quelques exemples suffiront pour montrer les effets qui peuvent en résulter sur les climats.

M. de Gasparin a remarqué que dans les plaines d'Orange, lorsque le vent du Nord, après avoir franchi les montagnes du Dauphiné, vient frapper les terres sous un angle de 15° environ, une hauteur de 200 mètres préserve un espace de 2,160 mètres, qui est réservé ordinairement aux cultures les plus délicates qui craignent le froid; la température moyenne de l'année y est plus élevée de 1° que celle qui est au delà. C'est à l'aide d'un abri de ce genre que les orangers viennent en pleine terre à Yères et à Ollioule.

Prenons des abris moins élevés pour arriver aux forêts.

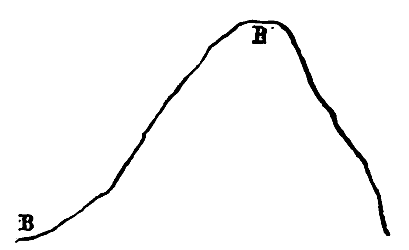
Dans la vallée du Rhône, on se garantit du mistral au moyen d'une simple haie de 2 mètres de hauteur qui préserve une distance de 22 mètres. C'est au moyen de semblables abris que l'on cultive les légumes qui craignent la violence du vent et le froid.

En formant des abris avec des arbres verts de 10 mètres de hauteur, on préserve une distance de 110 mètres.

Voilà bien l'influence des abris pour préserver des vents froids ou chauds les localités placées au delà; mais comment, dans ces conditions-là, se comportent les masses d'air saturées de vapeur qui sont transportées par les vents.

Tant qu'un vent au maximum de saturation souffle à une

hauteur qui est moindre que BD, hauteur de la montagne, le vent en s'écoulant le long de la pente, perd de sa vitesse,



déverse de la pluie et passe sur le revers opposé en déversant de la pluie. La montagne ne sert seulement qu'à décharger une grande partie des nuages du côté BD.

Si le vent souffle au-dessus de la montagne terminée par un plateau, il en résulte sur la masse d'air saturée de vapeur des effets qui varient suivant que ce plateau a été échauffé par le rayonnement solaire ou refroidi par le rayonnement nocturne; dans le premier cas, la masse d'air passe sans pluie; dans le second, le refroidissement dans la masse d'air par suite du rayonnement entre le nuage et le plateau détermine une chute d'eau; dans le cas où le plateau est couvert de neige, il y a toujours refroidissement quand le nuage n'a pas une température inférieure. Voilà comment on peut concevoir que les montagnes agissent comme réfrigérants.

Les forêts se comportent très-probablement comme les montagnes et les monticules qui étant opposés à la direction des vents pluvieux arrêtent plus ou moins ces derniers et forcent les masses d'air à s'écouler sur les côtés ou à s'élever, d'où résulte un abaissement de température, et par suite une chute d'eau. L'obstacle, bien entendu, n'est pas aussi complet que lorsqu'il s'agit d'une montagne, car une partie de la masse

d'air traverse la forêt où elle est arrêtée à chaque instant par les arbres qui sont autant d'obstacles partiels et lui font perdre de sa vitesse à chaque instant.

Les bois agissent d'une autre manière, en émettant ou fournissant une émission incessante de vapeur qui se répand dans les lieux circonvoisins, et si l'air ambiant est saturé, il peut y avoir chute d'eau.

La question des pluies exige que l'on étudie leur groupement, c'est-à-dire les effets résultant de l'intervalle plus ou moins grand qui sépare les pluies. Cette étude se rattache à celles qui concernent l'imbibition des eaux pluviales par le sol et leur évaporation. On conçoit que s'il ne pleut pas d'une manière suivie, mais à de certains intervalles, il peut arriver que l'évaporation enlève la plus grande partie de l'eau tombée, tandis que si la pluie tombe pendant plusieurs jours de suite et que le sol soit perméable, il absorbe toute l'eau et il se sature; dans le cas contraire, l'eau n'étant pas évaporée coule à la surface et d'autant plus vite que le terrain est plus en pente; elle gagne promptement les rivières, les ruisseaux.

On n'a recueilli malheureusement que peu d'observations à cet égard. M. de Gasparin n'a pu réunir que celles qui sont relatives à trois localités : à Nicolosi, sur les pentes de l'Etna de 1811 à 1839; à Orange, de 1814 à 1839, et à Paris, de 1748 à 1780 (Cours d'agriculture de M. de Gasparin, page 294). Ces observations montrent que les intervalles de pluie sont toujours plus grands en allant du Nord au Midi, et que le nombre des jours de pluie groupés diminue également dans le même ordre.

Pour bien apprécier les influences locales, nous rapporte-

rons encore le nombre annuel de jours de pluie et neige dans des circonscriptions différentes.

	Jours.
Entre les tropiques,	159,0
Angleterre, à l'Ouest,	159,5
Angleterre, à l'Est,	152,7
Côtes Ouest de l'Europe,	139,7
France méridionale, Italie, au Sud des Apennins,	91,2
Italie, au Nord des Apennins,	104,2
France septentrionale, Allemagne,	144,9
Scandinavie,	133,2
Russie,	109,0

On voit par ces chiffres que les nombres de jours de pluie et de neige en Europe ne sont pas en rapport avec les quantités d'eau tombée (voir le tableau, page 144), il faut donc en conclure que des causes locales, telles que celles qui ont été signalées, déchargent les nuages dans leur parcours à travers le continent, les pluies continuant ensuite, mais avec moins de force.

Le maximum de jours est en Angleterre, et le minimum au sud des Apennins.

On ne doit pas séparer les phénomènes de pluie des phénomènes de chaleur, c'est-à-dire que l'on doit mettre en regard les quantités d'eau tombées dans une contrée avec les éléments calorifiques propres à cette contrée, et avec lesquels ils sont en rapport, puisque la pluie dépend du refroidissement de l'air. Mais comme d'autres causes interviennent, ainsi qu'on l'a vu précédemment, il est bien difficile d'entrevoir l'influence de la température en consultant les observations recueillies jusqu'ici, comme on peut le voir dans les tableaux suivants :

	Températures moyennes.	Quantité d'eau tombée.
Strasbourg,	9°8	680,9 mm
Bruxelles,	10,2	676,6
Paris,	10,8	563,5
La Rochelle,	11,6	659,0
Toulouse,	12,9	642,0
Bordeaux,	13,9	659,1
Montpellier,	»	822,8
Toulon,	15,1	476,8

Les chiffres qui donnent les températures moyennes et les quantités d'eau tombées ne sont pas liés entre eux par des rapports; car à Strasbourg, dont la température moyenne est de 9°8, la quantité de pluie est de 680mm9, tandis qu'à Toulouse (temp. moy. 12°9), elle est de 642 millimètres, et à Toulon (temp. moy. 15°1), elle est de 476mm8.

C'est précisément ce rapport entre la température de l'eau et la quantité d'eau tombée que mon fils Edmond et moi avons essayé de faire dans cinq observatoires que nous avons établis avec le concours de l'Académie dans cinq localités de l'arrondissement de Montargis (Loiret). A cet effet, on observe la température de l'air sous bois et hors des bois, ainsi que les quantités d'eau tombées dans les mêmes conditions. On trouvera dans les tableaux suivants le résumé météorologique de 1866, c'est-à-dire du 1er décembre 1865 au 1er décembre 1866, ainsi que l'exposé des résultats auxquels la discussion nous a conduits.

CHATILLON-SUR-LOING.

Tableau n° 11. ANNÉE MÉTÉOROLOGIQUE DE 1866.

MOIS.	TEMPÉRATURES moyennes SOUS BOIS.		MOYENNES.	TEMPÉRATURES moyennes HORS DU BOIS.		MOYENNES.
Décembre 1865...	4°53	— 1°23	1°65	3°72	— 1°17	1°27
Janvier 1866...	9,10	2,37	5,73	8,13	2,58	5,35
Février......	9,00	3,44	6,22	8,70	3,37	6,03
Moyennes...	7,54	1,53	4,53	6,85	1,59	4,22
Mars.......	9,93	3,51	6,72	8,80	2,51	5,65
Avril.......	17,39	9,59	13,49	17,60	8,04	12,82
Mai........	16,30	8,31	12,31	17,26	8,54	12,90
Moyennes...	14,54	7,14	10,84	14,54	6,33	10,45
Juin.......	21,77	15,22	18,49	24,16	14,55	19,35
Juillet......	22,17	16,00	19,08	24,49	15,81	20,15
Août.......	19,40	14,00	16,70	20,58	13,68	17,13
Moyennes...	21,11	15,07	18,09	23,07	14,68	18,89
Septembre.....	18,33	9,13	13,73	19,13	13,36	16,24
Octobre......	14,85	7,34	11,09	15,18	10,02	12,60
Novembre.....	10,11	2,84	6,47	10,22	5,08	7,65
Moyennes...	14,43	6,44	10,43	14,84	9,48	12,16
Hiver.......	7,54	1,53	4,53	6,86	1,59	4,22
Printemps.....	14,54	7,14	10,84	14,54	6,35	10,45
Été........	21,11	15,07	18,09	23,07	14,68	18,89
Automne.....	14,43	6,44	10,43	14,84	9,48	12,16
Moyennes.....	14,35	7,54	10,94	14,82	8,02	11,42

MONTARGIS.

Tableau n° 12. ANNÉE MÉTÉOROLOGIQUE DE 1866.

SAISONS.	HORS DU BOIS.		MOYENNES.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	
HIVER.			
Décembre 1865	3°03	— 1°17	0°93
Janvier 1866	8,12	2,45	5,46
Février	8,70	3,52	6,11
Moyennes	6,72	1,60	4,16
PRINTEMPS.			
Mars	9,75	2,84	6,29
Avril	16,56	6,94	11,75
Mai	17,60	6,86	12,23
Moyennes	14,64	5,54	10,09
ÉTÉ.			
Juin	25,00	13,32	19,16
Juillet	24,34	14,22	19,28
Août	21,65	13,02	17,33
Moyennes	23,66	13,52	18,59
AUTOMNE.			
Septembre	20,23	12,02	16,12
Octobre	15,32	8,25	11,78
Novembre	10,58	3,64	7,11
Moyennes	15,38	7,97	11,67
MOYENNES.			
Hiver	6,72	1,60	4,16
Printemps	14,64	5,54	10,09
Été	23,66	13,52	18,59
Automne	15,38	7,97	11,67

LE CHARME.

Tableau n° 12. ANNÉE MÉTÉOROLOGIQUE DE 1866.

SAISONS.	HORS DU BOIS.		MOYENNES.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	
	HIVER.		
Décembre 1865	5°52	0°06	2°78
Janvier 1866	8,66	2,51	5,58
Février	8,32	3,21	5,76
Moyennes	7,50	1,92	4,71
	PRINTEMPS.		
Mars	8,99	1,92	5,45
Avril	17,10	5,67	11,38
Mai	17,00	6,82	11,91
Moyennes	14,36	4,80	9,58
	ÉTÉ.		
Juin	24,22	12,83	18,52
Juillet	24,00	13,53	18,76
Août	20,71	12,18	16,44
Moyennes	22,98	12,85	17,91
	AUTOMNE.		
Septembre	19,82	11,06	15,44
Octobre	15,35	7,60	11,47
Novembre	9,58	2,24	5,91
Moyennes	14,92	6,97	10,94
	MOYENNES DES SAISONS.		
Hiver	7,50	1,92	4,71
Printemps	14,36	4,80	9,58
Été	22,98	12,85	17,91
Automne	14,92	6,97	10,91
Moyennes	14,94	6,63	10,78

LA JACQUEMINIÈRE.

Tableau n° 14. ANNÉE MÉTÉOROLOGIQUE DE 1866.

SAISONS.	TEMPÉRATURES SOUS BOIS. Maximum.	TEMPÉRATURES SOUS BOIS. Minimum.	MOYENNES.	TEMPÉRATURES HORS DU BOIS. Maximum.	TEMPÉRATURES HORS DU BOIS. Minimum.	MOYENNES.
			HIVER.			
Décembre 1865. .	4°32	— 6°20	0°81	4°28	— 2°64	0°82
Janvier 1866. . .	8,20	1,44	4,82	8,22	1,16	4,91
Février.	8,86	2,31	5,58	9,09	2,07	5,58
Moyennes. . .	7,09	0,57	3,83	7,19	0,29	3,77
			PRINTEMPS.			
Mars.	9,45	1,43	5,44	9,62	0,80	5,21
Avril.	17,70	6,26	11,98	18,38	4,44	11,41
Mai	16,13	6,02	11,04	18,97	4,45	11,71
Moyennes. . .	14,43	4,57	9,50	15,66	3,23	9,44
			ÉTÉ.			
Juin.	22,39	11,89	17,14	28,39	10,94	19,66
Juillet.	21,30	13,32	17,31	26,67	12,90	19,78
Août.	18,32	12,04	15,21	22,66	11,00	16,53
Moyennes. . .	20,69	12,42	16,55	25,91	11,61	18,76
			AUTOMNE.			
Septembre	17,58	7,99	12,78	20,91	10,36	15,63
Octobre.	14,20	8,07	11,13	15,67	7,01	11,34
Novembre.	9,68	2,84	6,26	10,20	1,88	6,04
Moyennes. . .	13,82	6,30	10,06	15,59	6,42	11,00

LA SALVIONNIÈRE.

Tableau n° 15. ANNÉE MÉTÉOROLOGIQUE DE 1866.

MOIS.	TEMPÉRATURES SOUS BOIS.			TEMPÉRATURES HORS BOIS.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNES.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNES.
			HIVER.			
Décembre 1865. .	4°91	— 2°01	1°47	4°20	— 1°72	1°24
Janvier 1866 . . .	8,46	0,16	4,31	7,96	0,16	4,06
Février.	9,40	2,74	5°88	8,82	2,32	5,57
Moyennes. . .	7,47	0,29	3,88	6,99	0,25	3,62
			PRINTEMPS.			
Mars.	10,03	1,80	5,91	9,02	1,44	5,23
Avril.	18,54	5,48	12,01	15,77	5,74	10,75
Mai..	18,20	5,93	12,06	16,75	6,27	11,51
Moyennes. . .	15,59	4,40	9,99	13,85	4,48	9,16
			ÉTÉ.			
Juin.	24,18	11,43	17,81	24,66	12,47	18,55
Juillet.	22,22	12,74	17,45	24,23	13,30	18,76
Août.	19,22	11,34	15,28	20,94	11,62	16,28
Moyennes. . .	21,87	11,84	16,85	23,28	12,46	17,86
			AUTOMNE.			
Septembre	18,40	10,69	14,54	19,85	10,97	15,41
Octobre.	14,82	7,70	11,26	15,40	7,62	11,51
Novembre.. . . .	10,21	2,96	6,58	9,88	2,39	6,13
Moyennes. . .	14,47	7,12	10,79	15,04	6,99	11,02
Moyennes de l'année.	14,86	5,91	10,38	14,79	6,04	10,42
		RÉCAPITULATION. — TEMPÉRATURES MOYENNES.				
Hiver.	7,47	0,29	3,88	6,19	0,25	3,62
Printemps. . . .	15,59	4,40	9,99	13,85	4,48	9,16
Eté.	21,87	11,84	16,85	23,28	12,46	17,86
Automne.	14,47	7,12	10,79	15,04	6,99	11,02
Moyennes. . .	14,86	5,91	10,38	14,79	6,04	10,42

TABLEAU DES TEMPÉRATURES MOYENNES

PENDANT 1866 (ANNÉE MÉTÉOROLOGIQUE) SOUS BOIS ET HORS DU BOIS

Tableau n° 16. DANS L'ARRONDISSEMENT DE MONTARGIS (LOIRET).

LOCALITÉS et SAISONS.		TEMPÉRATURES MOYENNES SOUS BOIS.			TEMPÉRATURES MOYENNES HORS DU BOIS.		
		Maximum.	Minimum.	Moyennes.	Maximum.	Minimum.	Moyennes.
Châtillon-sur-Loing.	Hiver. . . .	7°54	1°53	4°53	6°85	1°59	4°22
	Printemps. .	14,52	7,14	10,84	14,54	6,35	10,45
	Été.	21,11	15,07	18,09	23,07	14,68	18,89
	Automne.. .	14,43	6,44	10,43	14,84	9,48	12,16
Moy. annuelles.		14,35	7,54	10,94	14,82	8,02	11,42
Montargis.	Hiver. . . .	»	»	»	6,72	1,60	4,16
	Printemps. .	»	»	»	14,64	5,54	10,09
	Été.	»	»	»	23,66	13,52	18,59
	Automne.. .	»	»	»	15,38	7,97	11,67
Moy. annuelles.		»	»	»	15,10	7,16	11,13
Le Charme.	Hiver. . . .	»	»	»	7,50	1,92	4,71
	Printemps. .	»	»	»	14,36	4,80	9,58
	Été.	»	»	»	22,98	12,85	17,91
	Automne.. .	»	»	»	14,92	6,97	10,94
Moy. annuelles.		»	»	»	14,94	6,63	10,78
La Jacque-minière.	Hiver. . . .	7,09	0,57	3,83	7,19	0,29	3,77
	Printemps. .	14,43	4,57	9,50	15,66	3,23	9,44
	Été.	20,69	12,42	16,55	25,91	11,61	18,76
	Automne . .	13,82	6,30	10,06	15,59	6,42	11,00
Moy. annuelles.		14,01	5,96	9,98	16,09	5,39	10,74
La Salvion-nière.	Hiver. . . .	7,47	0,29	3,88	6,99	0,25	3,62
	Printemps. .	15,59	4,40	9,99	13,85	4,48	9,16
	Été.	21,87	11,84	16,85	23,28	12,46	17,86
	Automne.. .	14,47	7,12	10,79	15,01	6,99	11,02
Moy. annuelles.		14,85	5,91	10,38	14,79	6,04	19,42

VARIATIONS DES TEMPÉRATURES

Tableau n° 17. SOUS BOIS ET HORS DU BOIS.

SAISONS.	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.
	CHATILLON-SUR-LOING.	
Hiver 1866.	7°54 — 1°53 = 6°01	6°85 — 1°59 = 5°26
Printemps	14,52 — 7,14 = 7,38	14,54 — 6,35 = 8,19
Été.	21,11 — 15,07 = 6,04	23,07 — 14,68 = 8,39
Automne.	14,43 — 6,44 = 7,69	14,84 — 9,48 = 5,36
Variations moyennes.	6°78	6°78
	MONTARGIS.	
Hiver.	» » »	6,72 — 1,60 = 5,12
Printemps	» » »	14,64 — 5,54 = 9,10
Été.	» » »	23,66 — 13,52 = 10,14
Automne.	» » »	15,38 — 7,97 = 7,41
Variations moyennes.	»	7,94
	LE CHARME.	
Hiver.	» » »	7,50 — 1,92 = 5,58
Printemps.	» » »	14,36 — 4,80 = 9,56
Été.	» » »	22,98 — 12,85 = 7,95
Automne.	» » »	14,92 — 6,97 = 7,95
Variations moyennes.	»	8,28

VARIATIONS DES MAXIMA ET DES MINIMA

Tableau n° 18. HORS DU BOIS ET SOUS BOIS.

SAISONS.	DIFFÉRENCES ENTRE LES MAXIMA HORS DU BOIS ET SOUS BOIS.	DIFFÉRENCES ENTRE LES MINIMA HORS DU BOIS ET SOUS BOIS.
	CHATILLON-SUR-LOING.	
Hiver.	6°85 — 7°54 = — 0°69	1°59 — 1°53 = 0°06
Printemps.	14,54 — 14,52 = 0,02	6,35 — 7,14 = — 0,79
Été.	23,07 — 21,11 = 1,96	14,68 — 15,07 = — 0,39
Automne.	14,84 — 14,43 = 0,41	9,48 — 6,44 — 3,04
Variations moyennes.	0,77	— 0,485
	LA JACQUEMINIÈRE.	
Hiver.	7,19 — 7,09 = 0,10	0,29 — 0,57 = — 0,28
Printemps	15,66 — 14,43 = 1,23	3,23 — 4,57 = — 1,34
Été.	25,91 — 20,69 = 5,22	11,61 — 12,42 = — 0,81
Automne.	15,59 — 13,82 = 1,77	6,42 — 6,30 = 0,12
Variations moyennes	2,08	— 0,58
	LA SALVIONNIÈRE.	
Hiver.	6,99 — 7,47 = — 0,48	0,25 — 0,29 = — 0,04
Printemps	13,85 — 15,59 = — 1,74	1,48 — 1,40 = 0,08
Été.	23,28 — 21,87 = 1,41	12,46 — 11,84 = 0,62
Automne.	15,04 — 14,47 = 0,57	6,99 — 7,12 = 0,13
Variations moyennes	— 0,24	+ 0,13

TEMPÉRATURES MOYENNES DE L'AIR.

	HORS DU BOIS.	SOUS BOIS.
Châtillon-sur-Loing.	11°42	10°94
Montargis.	11,13	»
Le Charme (boisée)	10,78	»
La Jacqueminière (boisée).	10,74	9,98
La Salvionnière (boisée)	10,42	10,28

Tableau n° 19.

LOCALITÉS.	MAXIMA MOYENS d'été ET D'AUTOMNE		MAXIMA MOYENS d'hiver ET DE PRINTEMPS		MINIMA MOYENS d'été ET D'AUTOMNE		MINIMA MOYENS d'hiver ET DE PRINTEMPS	
	hors du bois.	sous bois.	hors du bois.	sous bois.	hors du bois.	sous bois.	hors du bois.	sous bois.
Châtillon-sur-Loing. . .	18°95	17°77	10°69	11°04	12°08	10°75	3°97	43°3
La Jacqueminière. . . .	20,76	17,25	11,42	10,76	9,01	9,36	1,76	2,57
La Salvionnière	19,16	18,07	10,42	11,53	10,42	11,53	2,36	2,59

TEMPÉRATURES MOYENNES DE L'AIR.

	HORS DU BOIS.	SOUS BOIS.
Châtillon-sur-Loing	11°42	10°94
Montargis.	11,13	»
Le Charme (boisée)	10,78	»
La Jacqueminière (boisée)	10,74	9,98
La Salvionnière (boisée)	10,42	10,38

En discutant les résultats consignés dans les huit premiers tableaux, on arrive aux conséquences suivantes: la première, qui est indiquée dans le tableau 9, est que la température à Montargis et à Châtillon-sur-Loing est plus élevée d'environ un demi degré que celle dans les localités boisées. Cette différence tient-elle à l'influence des bois, ou bien à ce fait déjà constaté par Howard, que la température moyenne est un peu plus élevée dans les villes qu'en rase campagne?

Voici la réponse.

En comparant la température moyenne de l'air hors du bois à celle observée à quelques centaines de mètres de distance, là où l'on n'a plus à craindre, par conséquent, l'in-

fluence d'une agglomération de maisons et d'habitants, on trouve que la température hors du bois est un peu plus élevée que celle sous bois.

La distribution de la chaleur dans le cours de l'année présente des particularités remarquables, comme on va le voir.

Le tableau 10 nous montre que les maxima moyens, en été et en automne, ont dû être plus forts hors du bois que sous bois, tandis qu'en hiver et au printemps, à une exception près, le contraire a eu lieu : les minima moyens en été et en automne ont été deux fois sur trois plus faibles hors du bois que sous un bois, tandis que en hiver et au printemps, ils ont toujours été plus faibles.

Si l'on examine les variations annuelles, c'est-à-dire les différences entre les maxima et les minima annuels qui se trouvent dans le tableau 8, on arrive aux conséquences suivantes :

A Châtillon-sur-Loing, les variations sont les mêmes hors du bois et sous bois.

A la Salvionnière, elles sont également les mêmes à $0^{o}2$ de degré près, tandis qu'à la Jacqueminière, la différence est de $2^{o}7$ en faveur de la température hors du bois. Tâchons d'interpréter les maxima et les minima, en nous appuyant sur les faits connus.

Considérons successivement les températures maxima et minima de l'air en hiver et au printemps d'une part, en été et en automne de l'autre, sous bois et hors du bois, quand les arbres sont sans feuilles ou qu'elles commencent à paraître, et lorsqu'ils sont en feuilles ou que celles-ci commencent à tomber.

L'expérience a démontré que la température moyenne annuelle de l'air et celle des arbres isolés, exposés par conséquent au rayonnement solaire, étaient égales, avec cette différence toutefois que les heures des maxima ne sont pas les mêmes des deux côtés. Ces heures varient suivant la grosseur des arbres; dans les feuilles, les changements de température ont lieu à peu près comme dans l'air, dans les jeunes branches un peu plus tard, ainsi de suite jusqu'au tronc. Dans des arbres de 5 à 6 décimètres de diamètre, tels que le marronnier d'Inde, le maximum de température a lieu en été vers dix heures du soir, et en hiver vers six heures du soir.

Lorsque les arbres sont groupés et forment des bois, il n'en est pas tout à fait de même. Les troncs s'échauffent lentement, garantis qu'ils sont du rayonnement solaire par les branches; dans les pays de bois, ils paraissent moindres en été et en automne hors du bois que sous bois, tandis qu'en hiver et au printemps, ils ont été moindres dans les trois localités. Ces effets sont dus au rôle que jouent les bois comme abris.

En été et en automne, le rayonnement nocturne agit moins sur le sol couvert d'arbres que sur le sol découvert; par conséquent la température de l'air doit moins s'abaisser la nuit sous bois qu'en dehors; en hiver et au printemps, le même effet a lieu, comme l'indique le tableau nº 10.

Quelles conséquences peut-on tirer des rapports existant entre la température de l'air sous bois et hors du bois, et de l'état calorifique des arbres, relativement à leur influence sur les pluies?

Il faut se rappeler ce qui a été dit précédemment tou-

chant la tension de la vapeur au-dessus des arbres qui produisent une évaporation continuelle par les feuilles; la vapeur, au fur et à mesure qu'elle se forme, se répand dans l'air ambiant, suivant la loi qui régit le mélange des gaz et des vapeurs, et il en résulte un état hygrométrique moyen tel, que le degré d'humidité n'est à son maximum au-dessus des arbres que lorsque l'air à une certaine distance l'est également.

Du degré d'humidité de l'air au-dessus des arbres et de la température des feuilles dépend l'influence que les bois exercent sur les pluies.

Supposons maintenant que l'air au-dessus des arbres soit au maximum de saturation, au moment où la chaleur est la plus forte, c'est-à-dire à deux ou trois heures après midi, suivant la saison, et qu'il arrive un vent froid au maximum de tension. Il y aura chute d'eau non-seulement au-dessus du bois, mais encore à une certaine distance où l'état calorifique est le même. Si le courant d'air qui arrive en est saturé, la tension de la vapeur pourra augmenter, et si l'état des choses ne change pas à l'approche de la nuit, quand les feuilles et l'air ambiant commencent à se refroidir par l'effet du rayonnement nocturne, il y aura alors pluie, non-seulement au-dessus du bois, mais encore jusqu'à une certaine distance où l'état calorifique et hygrométrique est à peu près le même. Ces effets sont du même ordre que ceux qui ont lieu lors de la formation de la rosée sur les herbes des prairies ainsi que sur les feuilles des arbres. C'est de cette manière qu'il faut envisager l'influence des forêts sur les pluies, quand elles n'agissent pas comme abris, suivant le mode d'action que j'ai indiqué précédemment.

Je ne m'appuie, pour donner une explication probable de cette influence, que sur des faits certains, comme on a pu le voir.

J'arrive aux quantités d'eau tombées sous bois et hors du bois dans les cinq observatoires, où l'on a relevé les observations de température dont il a été fait mention.

On trouvera dans les tableaux suivants les quantités moyennes d'eau tombées pendant l'année météorologique 1866, classées par saison.

ANNÉE MÉTÉOROLOGIQUE DE 1866.

Tableau n° 20. QUANTITÉS D'EAU TOMBÉE.

SAISONS.	PARIS Jardin DES PLANTES.	CHATILLON-SUR-LOING.	LA SALVIONNIÈRE En plaine.	LA SALVIONNIÈRE Sous bois.	LA JACQUEMINIÈRE En plaine.	LA JACQUEMINIÈRE Sous bois.	LE CHARME.	MONTARGIS.
	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.
Hiver.	114,85	129,0	147,7	134,9	169,7	153,7	151,10	121,15
Printemps.	164,94	161,7	179,1	175,5	173,50	108,5	188,5	179,82
Été.	196,14	128,1	281,4	161,8	258,97	100,1	219,60	181,99
Automne.	228,27	200,3	215,2	163,1	243,7	120,3	230,5	230,57
Totaux	703,90	619,1	823,4	637,3	845,8	462,6	789,7	613,53

ANNÉE 1866.

	EN PLAINE.	SOUS BOIS.
	m.m.	m.m.
La Jacqueminière.	845,8	462,6
La Salvionnière.	823,4	637,3
Le Charme.	789,7	»
Paris.	703,90	»
Châtillon-sur-Loing.	619,1	»
Montargis.	613,53	»

AUTOMNE 1865 COMPARÉ A CELUI DE 1866.

	PARIS.	CHATILLON-SUR-LOING.	LA SALVIONNIÈRE EN PLAINE.	LA SALVIONNIÈRE SOUS BOIS.	LA JACQUEMINIÈRE EN PLAINE.	LA JACQUEMINIÈRE SOUS BOIS.	LE CHARME.	MONTARGIS.
ANNÉE 1865.	m.m. 174,25	m.m. 93,5	m.m. 144,1	m.m. 107,2	m.m. 139,4	m.m. 82,2	m.m. 136,0	m.m. 111,23
ANNÉE 1866.	228,27	200,3	215,2	163,1	243,1	120,32	230,5	230,57

Voici les conséquences auxquelles conduit la discussion des résultats indiqués dans les tableaux précédents pendant l'année 1866. Le rapport des quantités d'eau tombées en plaine et sous bois a été

En plaine. { Pour la Salvionnière, $\frac{823,4}{637,3} = 1,29$
Pour la Jacqueminière, $\frac{845,8}{462,6} = 1,82$

ou

Sous bois. { Pour la Salvionnière $= 0,77$
Pour la Jacqueminière $= 0,54$

La proportion n'est pas la même, parce qu'il est bien difficile de mettre sous bois deux udomètres dans les mêmes conditions, sous le rapport des abris des feuilles; on peut estimer à peu près à moitié la portion de l'eau de pluie qui est retenue par les feuilles.

En classant les six localités d'après la quantité d'eau tombée hors du bois, on trouve :

	m.m.
La Jacqueminière,	845,8 (boisée)
La Salvionnière,	823,4 (boisée)
Le Charme,	789,7 (boisée)
Paris,	703,90
Châtillon-sur-Loing,	619,1
Montargis,	613,53

Les trois localités qui ont donné le plus d'eau sont celles qui sont le plus boisées.

La ville de Montargis, quoiqu'à une distance de deux kilomètres environ de la forêt de ce nom, dont la superficie est d'environ 4,000 hectares, n'est pas considérée comme exposée

aux mêmes influences que les pays boisés, attendu qu'elle se trouve sous les vents d'ouest avant leur arrivée à la forêt; de sorte que si celle-ci produit un effet sur les pluies, ces effets ne peuvent être appréciables qu'au-delà, dans les lieux traversés par les vents d'ouest.

Si l'on passe de là aux quantités d'eau tombées dans les diverses saisons, on voit que le maximum de pluie a eu *lieu* en été dans les *lieux* boisés, et dans les lieux non boisés en automne.

Les minima ont été obtenus dans les lieux boisés en hiver, ainsi que dans les pays non boisés. A Châtillon, il y a eu un minimum en automne.

DES PLUIES EN DANEMARK.

Lorsque l'on veut étudier l'influence des bois sur les pluies, il faut se placer dans des conditions telles, que l'on n'ait pas à craindre celle de causes locales qui, agissant également sur les pluies, masqueraient les effets cherchés. Ces causes locales sont relatives à la position géographique des lieux, c'est-à-dire à leur latitude, à leur proximité ou à leur éloignement de la mer, ou bien à leur proximité de grandes chaînes de montagnes, de plateaux ou de vallées, etc., etc. Il faut prendre en considération ces diverses causes, surtout lorsqu'il s'agit d'une contrée comme le Danemark, qui, étant située entre deux mers, est exposée, d'une part, aux vents pluvieux du Sud-Ouest, de l'autre, aux vents également pluvieux de l'Est; dans ce cas, la question devient très-compliquée. Je vais en fournir des preuves :

Les localités où les observations udométriques ont été faites forment deux groupes distincts : le premier se trouve dans le Jutland, le second dans la Seelande. Parmi les observations recueillies, je prendrai celles relatives à six observatoires du Jutland et à deux de la Seelande; observations commencées au 1[er] septembre 1862, et allant jusqu'au 1[er] janvier 1866.

GROUPE DU JUTLAND.

Tarm, à 9 lieues S. O. des forêts et à 2 lieues environ de la côte occidentale	m.m. 643,97
Skaarupgaard, dans une campagne déboisée, près de la mer, à l'Est	538,11
Kraghlund, au milieu des forêts et des terres	557,60
Silkeborg, à l'extrémité des forêts, au N. E. de Tarm, à environ 8 lieues de la mer, côte Est	586,88
Grongback, à 2 lieues Nord de Silkeborg, au milieu des terres	460,68
Viborg, à 5 lieues de Silkeborg, au milieu des forêts, à 10 ou 12 lieues de la mer	536,31

GROUPE DE SEELANDE.

Moyennes des quantités d'eau tombées en 1863 *et* 1864.

Hemelstaste, au milieu des forêts, près de la mer	678,82
Landbohoiskolen, à 2 lieues des forêts	647,00

Il est difficile de tirer de ces résultats des conséquences relativement à l'influence des forêts sur les pluies, en Danemark, vu les causes qui réagissent également sur les quantités d'eau tombée.

Nous voyons seulement que les chiffres les plus élevés

correspondent dans la Seelande aux localités boisées ou qui se trouvent peu éloignées des bois, et que dans le groupe du Jutland, à Tarm, qui est à deux lieues de la côte occidentale, on a le maximum de pluie.

Examinons maintenant si les saisons n'interviendraient pas dans la distribution des pluies, eu égard à la position des localités, par rapport aux forêts.

Voici cette distribution dans les deux groupes :

GROUPE DU JUTLAND.

LOCALITÉS.	PLUIES TOMBÉES En été et en automne.	En hiver et au printemps.
	m.m.	m.m.
Silkeborg, à l'extrémité des forêts	354,22	232,50
Kraghlund, au milieu des forêts	355,10	202,25
Grongbak, à 2 lieues Nord de Silkeborg	308,82	151,85
Tarm, à 9 lieues S. O. des forêts	386,99	257,77
Viborg, à 5 lieues de Silkeborg	329,99	206,52
Skaarupgaard, dans une campagne déboisée	375,84	162,27

GROUPE DE LA SEELANDE.

Heinelstaste, au milieu des forêts	441,03	237,09
Landbohoiskolen, à 2 lieues des forêts	407,00	239,36

Ces moyennes semestrielles montrent qu'en Danemark, dans le Jutland, à Silkeborg, Grongbak, Kraghlund et Skaarupgaard, ces quantités d'eau tombées en été et en automne sont à peu près doubles de celles recueillies en hiver et au printemps.

A Tarm et à Viborg, elles sont également plus grandes dans les deux dernières saisons de l'année que dans les deux premières; seulement le rapport des quantités de pluie, au lieu d'être de 1 : 0,5, n'est que de 1 : 0,62 pour Viborg, et de 1 : 0,066 pour Tarm. Le groupe de la Seelande donne des résultats analogues.

Le Danemark se trouve donc dans la région des pluies d'été et d'automne. En groupant comme il suit les chiffres, on met en évidence des faits assez intéressants :

GROUPE DU JUTLAND.

LOCALITÉS.	PLUIES TOMBÉES En été et en automne.	PLUIES TOMBÉES En hiver et au printemps.
	m.m.	m.m.
Kraghlund (forêts)	202,35	355,10
Silkeborg (à l'extrémité des forêts)	232,50	354,22
Grongbak (2 lieues des forêts)	151,85	308,82
Viborg (5 lieues des forêts)	206,52	329,99
Tarm, peu éloigné de la côte (9 lieues de forêts)	257,77	386,20
Skaarupgaard, près de la mer (campagne déboisée)	162,27	375,84

GROUPE DE LA SEELANDE.

Heinelstaste, près la mer (forêts)	237,09	441,03
Landbohoiskolen (2 lieues des forêts)	239,36	407,07

On voit que les chiffres les plus élevés indiquent que dans le Jutland correspondent aux stations les plus rapprochées de la mer, ainsi que dans la Séelande en même temps qu'elles sont dans les forêts ou près des forêts. Il ne faut pas oublier

T. XXXVI. 24

toutefois que la position du Danemark rend son climat très-humide, surtout en raison de sa latitude élevée; aussi le moindre refroidissement, quand l'air est saturé de vapeur, doit-il déterminer une chute d'eau; les influences locales doivent, par conséquent, exercer une grande influence.

Les résultats consignés dans les tableaux suivants donneront une idée assez complète de l'état udométrique du Danemark.

GROUPE DE SÉELANDE.

ANNÉES.	SMORUM, à une lieue de la forêt.		STORE HARRESKOF, à l'extrémité de la forêt.		HUMLETASTE, au milieu de la forêt.		LANDBOHOISKOLEN à deux lieues de la forêt.	
1862.	Automne. . .	mm 173,3	Automne. . . mm 182,50		Automne. . . mm 236,42		Automne. . . mm 199,53	
1863.	Hiver.	» »	. . . mm 123,34	233,14	. . . mm 122,68	248,42	. . . 144,73	265,45
	Printemps . .	» »	. . . 109,80		. . . 125,74		. . . 120,72	
	Été.	235,35	. . . 191,48	329,01	. . . 230,74	368,59	. . . 187,96	312,39
	Automne. . .	134,25	. . . 137,53		. . . 137,85		. . . 124,43	
Quantité d'eau tombée	. . . .	» »	 562,15		 617,01		 577,84	
1864.	Hiver	» »	. . . . . . » »		. . . mm 120,32	225,76	. . . 123,78	213,28
	Printemps. . .	» »	 155,87		. . . 105,44		. . . 89,50	
	Été.	314,57	 322,21		. . . 278,71	514,47	. . . 314,78	502,95
	Automne. . .	172,10	 160,89		. . . 235,76		. . . 188,17	
Quantité d'eau tombée	. . . .	» »	. . . . » »		 740,23		 716,23	
1865.	Hiver.	» »	. . . . » »		. . . . » »		 45,84	
	Printemps. . .	» »	. . . . » »		. . . . » »		 34,93	
	Été.	115,48	 125,52		 98,01		 140,80	
	Automne. . . .	96,27	 120,50		. . . . » »		 135,13	
Quantité d'eau tombée	. . . .	» »	. . . . » »		. . . . » »		 356,70	

Quantité d'eau tombée en hiver et au printemps. . . . .

GROUPE DE SÉELANDE.

ANNÉES.	SMORUM.	STOR-HARRESKOR.	HUMLETASTE.	LANDBOHOISKOLEN
QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES EN ÉTÉ ET EN AUTOMNE.				
	mm	mm	mm	mm
1863.	369,60	329,01	368,59	312,39
1864.	486,67	483,10	514,47	502,95
1865.	211,75	246,02	» »	275,93
	1068,02	1058,13	883,06	1091,27
Moy.	356,01	352,71	441,52	363,76
QUANTITÉ D'EAU TOMBÉE EN HIVER ET AU PRINTEMPS.				
	mm	mm	mm	mm
1863.	» »	233,14	248,42	265,45
1864.	» »	» »	225,76	213,28
1865.	» »	» »	» »	80,77
MOYENNE DES QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES EN ÉTÉ ET EN AUTOMNE EN 1863 ET 1864.				
	mm 428,13	mm 406,05	mm 441,52	mm 407,07

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS.

		mm			mm
1863.	Storehareskor	562,15	1864.	Humletaste	740,23
—	Humletaste	617,01	—	Landbohoiskolen	716,23
—	Landbohoiskolen	577,84	1865.	Landbohoiskolen	356,76

ANNÉES.	TARM situé à 9 lieues géographiques au S.O. des grandes forêts de Silkeborg près de la mer du Nord et soumis à son influence. 1.	GLUDSTED situé à 2 lieues S.O. des forêts de Silkeborg dans une bruyère remplie de vagues. 2.	GULDFORHOVED à 2 lieues O. des mêmes forêts entouré également de bruyères. 3.	RODBŒK au milieu des forêts. 4.	SILKEBORG à l'extrémité des forêts. 5.	GRONBAK à 2 lieues N. de Silkeborg sans forêts tout près des bruyères. 6.	VIBORG au milieu des bruyères 5 lieues N. de Silkeborg. 7.	KALBIGAARD 2 lieues E. de Silkeborg entouré de petits bois. 8.	KRAGHLUND au milieu des forêts. 9.	SKAARUPGAARD dans une campagne déboisée. 10.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1862.	Automne.. . 231,18	209,13	218,74	208,69	188,17	178,56	186,00	162,41	193,85	190,58
1863.	Hiver. . . . 211,75	180,97	»	160,01	192,75 } 364,11	126,82 } 227,02	156,52 } 257,81	135,35	149,32	134,04
	Printemps. . 113,95	106,00	»	111,98	171,36 }	100,20 }	101,29 }	93,88	121,35	122,90
	Été. 157,61	165,03	164,16	174,20	161,54 } 337,71	147,79 } 292,96	213,71 } 412,14	165,25	160,23	203,24
	Automne.. . 217,21	»	175,95	246,46	176,17 }	145,17 }	198,33 }	»	197,57	178,57
Quantité annuelle d'eau tombée.	700,52	»	»	692,65	761,03	519,98	689,85	»	628,47	638,75
Quantité d'eau tombée en été et en automne.	374,82	»	340,11	420,66	»	»	»	»	357,80	381,81
1864.	Hiver. . . . 117,99	»	88,83	»	109,37	67,45	120,31	77,06	98,89	70,07
	Printemps.. 96,27	»	84,87	139,49	100,63	68,98	44,53	79,90	93,21	75,09
	Été. 182,06	»	167,43	210,44	180,09	167,87	124,87	213,71	204,11	209,35
	Automne.. . 211,53	»	127,06	207,38	161,54	135,35	112,21	158,05	162,20	186,86
Quantité annuelle d'eau tombée.	607,85	»	468,18	»	551,63	439,67	402,32	528,72	558,41	541,37
Quantité d'eau tombée en été et en automne.	393,59	»	294,48	417,82	341,63	303,22	237,08	371,76	366,31	396,21
1865.	Hiver. . . . 172,45	»	»	»	56,32	41,69	158,27	36,89	67,45	42,79
	Printemps. . 60,90	»	»	»	68,32	50,42	38,63	48,03	76,84	41,91
	Été. 182,06	241,00	195,37	182,71	233,36	187,74	205,42	205,64	212,19	179,88
	Automne.. . 208,13	157,83	172,02	182,71	149,97	142,55	135,35	158,05	129,01	169,62
Quantité annuelle d'eau tombée.	623,54	»	»	»	507,97	422,40	537,67	448,51	485,49	434,20
Quantité d'eau tombée en été et en automne.	390,19	398,83	367,39	365,42	383,33	330,29	340,77	363,69	341,20	349,50

MOYENNE DES QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES EN ÉTÉ ET EN AUTOMNE.

ANNÉES.	TARM.	GLUDSTED.	GULDFORHOVED	RODBŒK.	SILKEBORG.	GROHBAK.	VIBORG.	KALBIGAARD	KRAGHLUND.	SKAARUPGAARD
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1863.	374,82	»	340,11	420,66	327,71	292,96	412,14	»	357,40	381,81
1864.	393,59	»	294,48	417,82	341,67	303,22	237,08	»	366,31	396,21
1865.	390,19	398,83	367,39	365,42	383,33	330,29	340,77	»	341,20	349,50
	386,00	398,83	333,99	401,30	354,22	308,82	329,99		354,97	375,84
	10 lieues des forêts.	2 lieues des forêts.		au milieu des forêts.	à l'extrémité des forêts	2 lieues de Silkeborg.	au milieu des bruyères, 5 lieues de Silk.	au milieu des bruyères.	au milieu des forêts.	dans une campagne déboisée.

MÉMOIRE

SUR

LES EFFETS CHIMIQUES

PRODUITS DANS LES ESPACES CAPILLAIRES

PAR M. BECQUEREL

MEMBRE DE L'ACADÉMIE

Lu dans les séances des 13 mai et 17 juin 1867.

§ I. — PRÉCIS HISTORIQUE DES RECHERCHES DÉJA FAITES SUR LES ACTIONS CHIMIQUES DANS LES ESPACES CAPILLAIRES.

On s'occupe aujourd'hui de toutes parts de la transformation des forces, de celles de la chaleur en force mécanique, et de l'électricité en force mécanique, physique et chimique, et réciproquement ; j'ai eu l'idée qu'il pourrait bien se faire que l'on pût transformer également l'attraction capillaire en forces chimiques : tel est le problème dont j'ai commencé à entreprendre la solution.

L'Académie va voir, dans l'exposé que je vais avoir l'honneur de lui présenter des recherches que j'ai faites à cet

égard, jusqu'à quel point il est permis d'espérer que l'on arrivera à cette solution.

Peut-être est-ce une illusion de ma part? mais, en tout cas, les faits que j'ai observés ne seront pas sans utilité pour les sciences physico-chimiques.

On appelle attraction moléculaire l'action qui s'exerce entre des molécules similaires, ainsi que celles qui se manifestent au contact des solides et des liquides et à laquelle on rapporte les phénomènes capillaires, ainsi qu'au contact des corps solides et des gaz. Lorsque cette action s'exerce entre les molécules dissemblables, on l'appelle affinité, et, quand elle résulte du contact des solides et des liquides ou des gaz, et qu'elle produit des effets chimiques, M. Chevreul lui a donné le nom d'affinité capillaire, laquelle diffère des affinités ordinaires en ce que celles-ci produisent des composés en proportions définies, tandis que l'autre ne donne que des composés en proportions indéfinies.

L'aciération du fer par voie de cémentation est un exemple d'affinité capillaire entre deux solides.

On rapporte à l'affinité capillaire entre un solide et un liquide les phénomènes de teinture et de tannage, ainsi que l'état dans lequel se trouve l'eau qui donne aux tissus frais des animaux les propriétés dont ils jouissent.

L'affinité capillaire entre un solide et un gaz est celle qui s'exerce particulièrement lorsque des corps poreux absorbent des gaz, et d'où résultent quelquefois des effets remarquables; ainsi, quand le charbon de bois absorbe en même temps de l'oxygène et du gaz sulfhydrique, il se forme de l'eau avec dépôt de soufre. L'éponge de platine, en contact avec un mélange d'oxygène et d'hydrogène, s'échauffe, rou-

git et enflamme le mélange en produisant de l'eau. La mousse de platine, légèrement chauffée, transforme en acide sulfurique anhydre un mélange de gaz acide sulfureux et d'oxygène. L'alcool, en présence du noir de platine, se change en acide acétique, l'esprit de bois en acide formique, etc., etc. Voilà, suivant M. Chevreul, en quoi consiste l'affinité capillaire considérée sous le point de vue synthétique; nous citerons, comme exemples de l'affinité capillaire envisagée sous le rapport analytique, les exemples suivants:

La teinture détruite par la température ou par l'eau employée en grande masse;

Les gaz absorbés par les corps poreux et qui en sont séparés par la chaleur, etc., etc.

Nous devons encore mentionner les affinités capillaires antagonistes, signalées également par M. Chevreul, et en vertu desquelles l'argile, imbibée d'huile, laisse échapper cette dernière pour prendre de l'eau, tandis que le blanc de plomb imbibé d'eau abandonne celle-ci pour prendre de l'huile.

Il faut rapporter enfin aux actions combinées de l'affinité et de l'attraction capillaire les phénomènes d'endosmose et de dialyse.

Voilà, en peu de mots, ce qui a été fait jusqu'ici concernant les phénomènes chimiques dus à l'attraction capillaire. La plupart de ces phénomènes sont dépendants de la nature des surfaces, tandis que les phénomènes dont nous nous occuperons dans ce Mémoire en sont tout à fait indépendants.

Depuis longtemps, je cherche à donner plus d'extension à ces phénomènes, en étudiant les effets chimiques produits au contact des solides et des liquides placés dans des condi-

tions spéciales, effets qui m'ont conduit à étudier ceux qui ont lieu dans les espaces capillaires d'une étendue plus ou moins grande, dans lesquels peuvent s'opérer des phénomènes de réduction métallique, d'oxydation, de sulfuration, de double décomposition, c'est-à-dire la plupart des phénomènes de la chimie, et qui sont différents de ceux dont il vient d'être question.

Je rappellerai d'abord les expériences qui m'ont conduit à l'observation des faits dont je vais parler dans ce mémoire.

Dans une note communiquée à l'Académie, dans la séance du 22 juillet 1833, sur un procédé à l'aide duquel j'étais parvenu à produire le sulfure de plomb cristallisé (*Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. LIII, p. 105), j'indiquai quelle pouvait être l'influence de la capillarité sur ce phénomène. On avait pris un tube fermé par un bout, dans la partie inférieure duquel se trouvait du sulfure de mercure, sur une hauteur de deux ou trois centimètres ; on avait versé au-dessus une dissolution de chlorure de magnésium, où plongeait une lame de plomb qui était également en contact avec le sulfure; le tube avait été fermé hermétiquement.

Six semaines après, environ, on commença à apercevoir sur la paroi du tube, au-dessus du sulfure, une couche très-mince d'un dépôt brillant, gris métallique, de laquelle se détachaient des cristaux de sulfure de plomb.... Rien de plus simple, disais-je, que d'expliquer ces différents résultats : « Lorsque le plomb est en contact avec un chlorure alcalin « ou terreux tel que le chlorure de magnésium, il se forme un « double chlorure....... Le plomb attire le mercure du sul- « fure, tandis que le soufre, qui est l'élément électro-négatif, « se porte sur le double chlorure, par l'intermédiaire *de la*

« *couche infiniment mince de liquide qui adhère au verre, la-* « *quelle jouit de propriétés particulières*..... » « Cette in- « fluence des parois intérieures du tube est probablement « analogue à celle que j'ai déjà signalée, dans l'expérience où « l'oxyde de cobalt est réduit dans un tube de verre à petit « diamètre, par l'intermédiaire du chlorure de chrome et « de l'eau; *la petite couche de liquide adhérente au verre fa-* « *vorise la circulation du fluide électrique.* »

Dans la première édition de mes *Éléments d'électro-chimie*, publiée en 1843, p. 228, en parlant de la décomposition du carbonate d'argent par l'intermédiaire d'une lame de plomb et de l'eau, dans un tube de verre, je disais : « Le car- « bonate ne tarde pas à être décomposé, la portion d'argent « adhérente au verre forme, en divers endroits, une surface « continue et brillante, comme si le verre était argenté, preuve « de l'influence des surfaces sur l'action électro-chimique. » Dans la seconde édition du même ouvrage, publiée en 1864, je reviens à plusieurs reprises sur l'influence des surfaces dans les actions électro-chimiques, dont les effets étaient quelquefois décisifs.

Enfin, mon fils Edmond, dans un travail important sur la conductibilité des liquides renfermés dans des tubes capillaires (*Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers*, t. I[er], p. 733), a été conduit à ce fait, que le pouvoir conducteur des liquides ne varie pas proportionnellement à la section, comme les colonnes liquides à grands diamètres, mais dans un rapport plus grand.

Pour expliquer la cause de cette différence, M. Edmond Becquerel émet l'opinion que l'on ne peut admettre que deux hypothèses : ou le procédé employé ne donne pas la section

« des tubes capillaires et conduit à un nombre plus faible que « celui que l'on devrait avoir, ou bien l'action moléculaire « exercée entre les parois des tubes et les liquides, modifie « la conductibilité électrique de manière à ce que le pouvoir « conducteur augmente un peu à mesure que les espaces ca- « pillaires sont plus petits ; d'un autre côté, il peut se faire « que les parois intérieures du verre lui-même servent de « conducteurs, comme mon père l'a observé dans ses recher- « ches électro-chimiques, soit en vertu de la conductibilité « propre du verre, soit en raison de l'augmentation de den- « sité de la couche liquide par suite de l'attraction molécu- « laire. »

D'après les expériences rapportées précédemment, on est conduit à admettre la seconde hypothèse.

Dans mon premier mémoire sur l'application des fores électro-chimiques à la physiologie végétale (*Annales de chimie et de physique*, t. LII, 2[e] série, p. 243), j'exposai d'abord les résultats que j'avais obtenus, dans une série d'expériences touchant l'influence des parois des tubes et des vaisseaux à petits diamètres ou des surfaces d'une nature quelconque sur les effets électro-chimiques. Je posai alors le principe suivant, dont on verra plus loin les conséquences : « Quand deux liquides renfermant, chacun, en dissolution, « des substances différentes et pouvant réagir chimiquement « les unes sur les autres, sont séparés par une membrane « qui ne leur permet de se mélanger que très-lentement, il « en résulte par l'intermédiaire de ses parois, un courant « électrique continu qui peut produire des actions chimiques « particulières. Si les composés qui en résultent sont inso- « lubles, ils s'attachent à l'une des surfaces de la membrane;

« dans le cas contraire, ils se répandent dans les dissolutions « où ils concourent encore à de nouvelles opérations.

« Je citerai, comme un exemple de composés insolubles, « les cristaux de carbonate de chaux que M. de Turpin a « découverts sur la paroi intérieure de l'enveloppe des œufs « de limaçon, et ceux d'oxalate de chaux, que le même na- « turaliste a observés dans le tissu cellulaire d'un vieux tronc « de palmier. »

Le principe que je viens de rappeler et qui est nettement posé, est fécond en applications, comme on le verra plus loin.

Je mentionnerai encore une observation rapportée dans mon *Traité d'électrochimie*, p. 242, édition de 1843, et qui est relative au sujet que je traite : « Lorsqu'on prépare en grand « le sulfate de cuivre, et qu'on le conserve dans des vases de « bois, on observe qu'au bout de quelque temps, il se dé- « pose du cuivre métallique à l'extrémité de quelques dou- « ves : le dépôt de cuivre continue peu à peu et finit par for- « mer de grandes masses de cuivre cohérentes. »

On avait cherché à expliquer ce fait curieux, soit en admettant que la matière organique réduisait le cuivre, soit en supposant que le sulfate de deutoxyde se changeait en sulfate de protoxyde; mais on ne rendait pas compte du dépôt de cuivre dans l'intervalle des douves en bois, et pour quel motif il se formait des plaques métalliques, lesquelles ne pouvaient se produire qu'en vertu d'une action électro-chimique semblable à celle qui donne lieu aux dépôts galvanoplastiques.

Les faits que je viens de rapporter m'ont conduit à l'époque où je les exposais, à chercher à former des circuits électro-chimiques sans l'intervention d'aucun métal.

Je présentai à l'Académie des sciences, dans la séance du 29 mars 1847 (*Comptes rendus des séances de l'Académie*, t. XXII, p. 184), un premier mémoire sur les circuits électro-chimiques sans métal. Après avoir exposé les principes qui devaient servir de guides pour former ces circuits, je m'exprimai en ces termes :

« On prend deux bocaux renfermant l'un de l'acide nitri-« que, l'autre une solution de potasse marquant 25 degrés à « l'aréomètre, et en relation l'un et l'autre au moyen d'un « tube recourbé dans lequel se trouve une mèche de coton; « on prend ensuite deux tubes, de 2 décimètres chacun de « long et d'un diamètre d'environ 2 centimètres, que l'on « prépare comme il suit : après avoir humecté l'argile avec « de l'acide nitrique et une autre portion d'argile avec une « solution saturée de nitrate de potasse, on fait un mé-« lange de cinq parties d'argile humectée avec la solution sa-« turée de nitrate et d'une partie d'argile préparée avec l'acide; « on mélange de la même manière quatre parties de la première « et une de la seconde; ainsi de suite jusqu'au mélange d'une « partie de l'une avec une partie de l'autre. On introduit ensuite « dans un tube de l'argile humectée seulement avec la solution « de nitrate, puis successivement de l'argile du premier, du « deuxième, du troisième, du quatrième mélange, et enfin de « l'argile humectée seulement avec de l'acide nitrique. On « prépare de la même manière l'autre tube avec de l'argile « humectée avec une solution de nitrate de potasse.

« Au moyen de cette disposition, on conçoit que la quan-« tité d'acide qui humecte l'argile va continuellement en di-« minuant, ainsi que la quantité de solution potassique qui « humecte l'argile du second tube; on régularise ainsi le dé-

« croissement des quantités d'acide et d'alcali dans l'argile.

« Le bout du premier tube, qui contient de l'argile acidu-
« lée, est plongé dans l'acide, et le bout qui renferme de l'ar-
« gile alcalisée, dans la solution alcaline. Les deux autres
« bouts, qui ne renferment que de l'argile humectée avec la
« solution de nitrate de potasse, sont plongés chacun dans un
« bocal contenant une certaine quantité de la solution de
« nitrate de potasse..... en fermant ce circuit avec un tube
« contenant une mèche de coton humectée avec la solution
« de nitrate de potasse, on a un courant électrique continu,
« tant que dure la combinaison de l'acide nitrique avec la
« potasse, comme je l'ai démontré dans le mémoire, soit en
« remplaçant la mèche de coton par une grenouille préparée
« à la manière de Galvani, soit en réduisant l'oxyde d'argent
« comme il suit : On répand une certaine quantité de cet
« oxyde à l'extrémité de la mèche de coton servant à fermer
« le circuit et qui joue le rôle d'électrode négative; vingt-
« quatre heures après, l'oxyde est réduit et l'argent est cris-
« tallisé en dendrites. »

J'ajoutai plus loin : « Je n'ai employé que le kaolin ou l'ar-
« gile exempte de pyrites, afin de retarder, autant que pos-
« sible, le mélange des liquides, et de pouvoir opérer pen-
« dant longtemps ; mais on peut composer des appareils ne
« contenant que des liquides....., il suffit pour cela d'établir
« la communication entre les deux liquides actifs qui réagis-
« sent l'un sur l'autre avec des tubes effilés aux deux bouts
« et remplis de liquides conducteurs qui, en vertu de l'ac-
« tion capillaire, ne se déplacent que difficilement, quand les
« niveaux sont les mêmes des deux côtés. »

Dans un autre mémoire, ayant pour titre : *Recherches sur*

les causes qui dégagent de l'électricité dans les végétaux et sur les courants végétaux terrestres, communiquée à l'Académie le 4 mai 1850, je m'attachai principalement à démontrer, en m'appuyant sur les principes exposés dans le précédent mémoire, qu'il devait se produire des courants électriques, non-seulement dans la circulation de la séve, mais encore des courants dérivés terrestres, par l'intermédiaire des racines, de la moelle et des autres parties de la tige des végétaux.

Tels sont les points de départ des recherches dont je vais entretenir l'Académie.

§ II. — DES EFFETS DE RÉDUCTION MÉTALLIQUE DANS LES FÊLURES DES TUBES DE VERRE.

On voit, d'après les expériences que je viens de rapporter et des conséquences que j'en ai tirées, que, depuis plus de trente ans, je cherchais la possibilité de mettre en évidence l'existence de couples électro-chimiques composés seulement de liquides, de tubes capillaires ou de membranes; couples dont la chimie et la physiologie, ajoutai-je, tireront parti un jour pour l'explication d'un grand nombre de phénomènes, non-seulement de la nature inorganique, mais encore de la nature organique.

Mes prévisions à cet égard se sont réalisées, quand le hasard me fit apercevoir les effets chimiques produits par l'intervention de l'action capillaire, dans un tube de verre fêlé accidentellement, contenant une dissolution de sulfate de cuivre, et qui était resté plongé pendant très-longtemps dans une autre de monosulfure de sodium; cette dernière, en en-

trant lentement dans le tube, par la fissure, s'est répandue sur la paroi intérieure du tube, a réagi sur le sulfate en produisant une couche excessivement mince de sulfure de cuivre adhérente au verre, couche ayant un aspect métallique cuivré et présentant les couleurs des lames mincès de Newton.

Il est bien évident que l'action capillaire avait dû intervenir dans la formation de ce produit, avec d'autant plus de raison que la dissolution de sulfate n'était pas sortie du tube; d'un autre côté, j'avais remarqué dans un autre appareil électro-chimique que, lorsqu'un tube fermé par l'une de ses extrémités avec du plâtre contenait de l'acide nitrique et plongeait dans une dissolution d'iodure de potassium, l'acide filtrait très-lentement au travers du plâtre, réagissait sur l'iodure, le décomposait, isolait l'iode qui se dissolvait, puis cristallisait en aiguilles de quatre à cinq millimètres de longueur, tandis que l'iodure n'entrait pas dans le tube.

Je pensai alors que tous les liquides ne jouissaient pas au même degré de la propriété de traverser les fissures des corps fêlés, de même que les gaz, comme on l'a reconnu à l'égard de l'hydrogène; qu'il y en avait même qui en étaient privés et qu'il paraissait que cette propriété n'avait pas de rapport avec celle qui constitue la dialyse, du moins d'après mes expériences.

Les tubes fêlés dont j'ai fait usage ont été préparés comme il suit : on trace légèrement sur leur surface, avec un diamant, une ou deux lignes longitudinales, puis on applique en un point quelconque de ces lignes l'extrémité d'un petit tube chauffé au rouge blanc; la fêlure se forme aussitôt, mais il faut avoir l'attention de retirer le petit tube dès



que la fêlure est formée dans toute l'épaisseur du verre, afin que la fente ne s'élargisse pas trop; cette fente doit permettre aux dissolutions ou du moins à l'une d'elles de s'y introduire par l'action capillaire, sans quoi les effets que je vais indiquer n'auraient pas lieu; on verra plus loin le moyen de s'assurer si la fente est dans un état convenable pour remplir le but que l'on se propose.

On a versé dans un tube de verre d'un centimètre de diamètre, préparé comme il vient d'être dit, une dissolution concentrée de nitrate de cuivre, puis on a introduit ce tube dans une éprouvette contenant une dissolution marquant 12 à 15° à l'aréomètre de monosulfure de sodium, dont le niveau était le même, afin que la pression fût égale des deux côtés. Que devait-il se produire dans la fêlure, d'après les notions que nous possédonssur le mélange de ces deux dissolutions? On aurait dû obtenir du sulfure noir de cuivre et du nitrate de soude; mais il n'en a pas été ainsi; très-peu de temps après la préparation, on a commencé à apercevoir, dans les fentes, un dépôt très-brillant de cuivre métallique ayant une texture cristalline. Peu à peu le dépôt a augmenté, la fêlure s'est élargie et le tube a fini par éclater. On a pu en retirer des petits cylindres de cuivre de 2 millimètres de diamètre. On a paré à cet inconvénient en cerclant en trois points les tubes avec un fil très-fort enduit de cire, quand ce fil n'était pas attaqué toutefois par le liquide ambiant; mais, avec un fil de platine lorsque la nature de la dissolution l'exigeait. Je dois ajouter que le dépôt cristallin s'est effectué non-seulement dans la fente, mais encore sur la surface intérieure du tube et dans son voisinage, en produisant une petite plaque, et rien ne s'est produit sur la surface extérieure dans son con-

tact avec la dissolution de monosulfure, si ce n'est que la surface du cuivre réduit dans la fêlure s'est un peu sulfurée dans son contact avec la dissolution de monosulfure.

Avec des dissolutions étendues les effets ont été les mêmes, mais moins rapides.

Dans ces expériences, la dissolution de nitrate de cuivre n'est pas sortie du tube, et celle du monosulfure n'y est pas entrée; l'action a donc dû se produire, ou plutôt commencer, d'abord dans la fente excessivement étroite du tube, puis sur sa paroi intérieure. Si la fente eût été moins étroite, l'un des deux liquides, et même les deux, auraient pu la traverser.

Le sulfate, le chlorure et l'acétate se comportent de même, mais la réduction est beaucoup plus lente à se produire; avec le nitrate, on aperçoit quelquefois des dendrites de cuivre au bout de cinq minutes, tandis qu'avec les autres dissolutions la réduction n'est sensible que longtemps après la préparation.

Il arrive quelquefois avec le sulfate, lorsque la fente a une certaine étendue, que la dissolution sort peu à peu du tube, pénètre dans celle de monosulfure; il se forme tantôt un dépôt de sulfure de cuivre adhérant à la surface extérieure du tube, ayant un aspect métallique et présentant les couleurs des lames minces; tantôt la dissolution de sulfate se répand sous forme de jets dans celle de monosulfure, et y produit soit des stalactites de sulfure de cuivre, soit une espèce de tissu mince comme une toile d'araignée et couvert de cristaux microscopiques brillants. Quelquefois aussi des effets sont produits dans le tube où se trouve la dissolution de sulfate, et alors on aperçoit du cuivre métallique dans la fente et

près d'elle, qui provient de la réduction du sulfure par une action secondaire sur laquelle je reviendrai. Ces effets dépendent des dimensions de la fente, lesquelles, en général exercent une grande influence sur les effets produits puisqu'ils dépendent de la capillarité et de l'action de l'électricité dégagée dans la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre.

Une dissolution saturée de nitrate d'argent substituée à celle du cuivre, a donné les résultats suivants : la dissolution a filtré d'abord très-lentement dans celle de monosulfure ; il s'est déposé sur la surface extérieure du tube une assez grande quantité de sulfure d'argent formant sur un point une masse ayant de la dureté, présentant un aspect cristallin et vide à l'intérieur comme une géode. Dans la fissure et sur la paroi intérieure du tube, et par conséquent dans la dissolution de nitrate, il s'est déposé de l'argent métallique en dendrites en filaments très-déliés, ou en petites plaques très-brillantes. Les filaments, également brillants, étaient entrelacés les uns dans les autres et se détachaient de la paroi, à mesure que leur poids augmentait. La géode de sulfure était tapissée intérieurement de petits cristaux d'argent métallique. Cet effet n'a pu être produit qu'autant que le sulfure avait des interstices capillaires. Ce fait remarquable semble indiquer un des moyens que la nature emploie pour le remplissage des géodes dans les formations terrestres, particulièrement dans les roches métallifères.

Les dissolutions de plomb et d'étain se comportent comme celles de cuivre et d'argent; seulement les métaux se sulfurent et s'oxydent rapidement. La réduction résulte quelquefois de la décomposition de leur sulfure, lorsque les fissures sont dans un état convenable. La dissolution d'or donne de

jolis dépôts cristallins de ce métal occupant une certaine étendue.

La réduction de platine n'a pu être effectuée encore dans les tubes filés; mais on l'obtient dans un appareil capillaire dont il sera parlé plus loin.

Avec l'or, il arrive quelquefois que la dissolution de monosulfure entre d'abord dans celle de ce métal qui se sulfure; les fentes se remplissant par la présence du sulfure, les infiltrations se ralentissent peu à peu et il arrive un instant où l'or se réduit de son sulfure; la marche de la réduction est progressive et augmente en raison de la diminution de l'étendue des espaces capillaires.

La réduction du cuivre se produit également de la même manière; mais fréquemment elle a lieu immédiatement sans qu'il y ait formation de sulfure.

Les dissolutions de nickel et de cobalt donnent également la réduction de leur métal respectif, mais il ne faut pas que les fissures soient trop étroites. L'action est plus lente qu'avec les dissolutions de cuivre ou d'argent.

Les dissolutions de zinc, de fer donnent très-difficilement des effets de réduction, surtout la première, avec les tubes fêlés, peut-être en raison de leur oxydabilité. J'ai obtenu quelquefois d'assez bons résultats avec le protochlorure de fer.

Dans le but de savoir si le monosulfure agissait seulement comme désoxydant, on a remplacé sa dissolution par celles d'acide oxalique, de sulfate de protoxyde de fer, sans obtenir aucun effet. Les dissolutions d'iodure de chlorure n'ont pas amené également la réduction. Nous en verrons plus loin la cause.

La dissolution de persulfure de potassium ne produit que très-difficilement la réduction métallique, probablement à cause de la facilité avec laquelle les métaux réduits se sulfurent. Les sulfures formés sont excessivement minces et légers comme des toiles d'araignée; ils présentent les couleurs des anneaux colorés de Newton, dues peut-être à une réduction partielle; ils sont flottants dans le liquide et presque insaisissables, et se pelotonnent quand on cherche à les retirer.

Il y a beaucoup de tubes fêlés, préparés comme on l'a dit précédemment, qui sont impropres aux expériences, parce que aucune des dissolutions ne peut s'y introduire par l'action capillaire.

On peut employer le moyen suivant pour s'assurer que les espaces capillaires ont l'étendue suffisante pour que les actions physiques puissent avoir lieu. Ce moyen, qui ne donne toutefois qu'une limite, attendu que toutes les dissolutions ne jouissent pas au même degré de la faculté de s'introduire dans les fissures, consiste à se servir de ces tubes pour opérer la réduction du cuivre avec la dissolution de son nitrate qui est la plus facilement décomposable. Aussitôt que l'on s'aperçoit que l'effet se produit, on cesse l'expérience et on lave les tubes avec de l'acide nitrique pour enlever le cuivre réduit et les faire servir à d'autres réductions.

Ce moyen, je le répète, ne peut pas être considéré comme absolu, car la plupart des fentes qui laissent passer la dissolution de monosulfure empêchent la réduction du cuivre. On ne peut donc donner encore une règle sûre pour savoir si tel ou tel tube fêlé est propre ou non à opérer la réduction des métaux; nous indiquerons ci-après un procédé qui laisse moins d'incertitude.

Les tubes filés ne fonctionnent que pendant un temps déterminé qui dépend de l'étendue des fentes et de la résistance du verre. Quand ces fentes s'élargissent à cause du dépôt métallique, il arrive un instant où la résistance est telle, par suite des liens qui entourent les tubes, que le dépôt métallique obstrue complétement la fente; si celle-ci s'élargit outre mesure, la dissolution de monosulfure entre plus librement, et alors elle réagit sur le métal réduit, s'il est de nature à être sulfuré.

Quand on s'aperçoit que cette réaction commence, on retire le tube, on enlève la dissolution métallique, et on le lave à plusieurs reprises, puis on l'introduit dans une éprouvette remplie d'eau distillée que l'on ferme avec soin pour empêcher l'oxydation.

Le moyen à l'aide duquel on expérimente toujours dans les mêmes conditions de capillarité, te qui consiste à opérer successivement avec le même tube, donne à la vérité des résultats comparables entre eux, mais il demande du temps pour réunir un certain nombre de résultats afin de les comparer entre eux.

§ III. — DES EFFETS DE RÉDUCTION MÉTALLIQUE DANS LES ESPACES CAPILLAIRES QUELCONQUES.

Les espaces capillaires que je vais passer successivement en revue sont:

1° L'intervalle compris entre deux lames de verre superposées et pressées plus ou moins fortement l'une contre l'autre, avec des liens, ou bien deux plaques de cristal de roche polies appliquées également l'une sur l'autre;



2° La porosité du papier parcheminé servant à la dialyse;

3° Les intervalles capillaires compris entre des grains de verre ou de quartz, ou de toute autre substance, réduite en poussière plus ou moins fine et tassée dans des tubes;

4° La porcelaine dégourdie, le grès, etc.;

5° Des tubes d'un certain diamètre, effilés par un bout en tubes capillaires.

On aurait pu croire que les effets de réduction précédemment décrits, obtenus avec des tubes fêlés, étaient dus à la présence de la potasse ou de la soude dans le verre; mais il est facile de prouver qu'il n'en est rien; il suffit pour cela d'expérimenter comme il suit :

On prend deux plaques de quartz parfaitement polies, au milieu de l'une desquelles on a pratiqué une petite cavité que l'on remplit d'une dissolution saturée de nitrate de cuivre, puis on pose dessus l'autre plaque; et les deux plaques sont pressées fortement l'une contre l'autre avec un fil enroulé plusieurs fois autour. Le tout est plongé dans une dissolution assez concentrée de monosulfure de sodium. Quelques instants après, on commence à apercevoir sur les bords des plaques, à leur jonction, des dendrites de cuivre métallique très-brillantes, qui prennent peu à peu de l'étendue. On voit par là que l'effet de réduction est dû à la réaction des deux dissolutions et à la capillarité et non à la présence de l'alcali dans le verre. Dans une expérience, la réduction du cuivre a continué pendant plusieurs jours; après cela, l'intervalle entre les plaques ayant augmenté, par suite du dépôt métallique, la dissolution de monosulfure s'est introduite dans la fissure en assez grande quantité, et a fini par sulfurer le cuivre réduit.

On a expérimenté ensuite avec deux plaques de verre, dont l'une avait été percée au milieu, afin de pouvoir y fixer avec du mastic un tube destiné à recevoir une dissolution métallique; cette lame préparée ainsi a été recouverte en dessous d'une autre lame et assujettie à l'autre avec des liens; le tout a été plongé ensuite dans une dissolution de monosulfure de sodium.

On a pu obtenir avec cet appareil la réduction de l'or, du platine, du cuivre, du plomb, du cobalt, et du nickel; il faut arrêter à temps l'expérience, sans quoi la dissolution de monosulfure pénètre facilement dans l'intervalle capillaire, et finit par sulfurer le métal.

Au lieu de prendre deux plaques ou lames de verre dont l'une est percée, et un tube de verre mastiqué sur la lame supérieure, on prend trois lames que l'on superpose l'une sur l'autre, en mettant au milieu celle qui est percée, afin d'avoir une cavité destinée à recevoir la dissolution métallique. Les trois lames sont serrées les unes contre les autres avec des fils, puis plongées dans la dissolution de monosulfure.

Cet appareil, facile à préparer, m'a servi fréquemment dans mes recherches, surtout pour les essais. Il a en outre l'avantage de permettre d'employer des espaces capillaires plus ou moins étroits, suivant que les ligatures sont plus ou moins serrées. Les tubes fêlés, quand les fissures ont une étendue convenable, sont de beaucoup préférables, parce que les infiltrations de la dissolution de monosulfure sont moins fréquentes, les fissures étant plus étroites.

Est-il possible de trouver une limite de grandeur capillaire où la réduction métallique puisse avoir lieu? On ne peut avoir de limites absolues, mais bien des données supé-



rieures et inférieures sur l'étendue où la réduction est possible. Cette limite est d'autant plus difficile à trouver qu'elle dépend de la nature des dissolutions. Voici les expériences que j'ai faites pour la trouver.

On prend des tubes de verre d'un centimètre environ de diamètre, que l'on effile à l'un des bouts de manière à avoir un tube capillaire; plusieurs de ces tubes ont été remplis d'une dissolution saturée de nitrate de cuivre, puis plongés par les extrémités capillaires; les effets précédemment décrits se sont reproduits, le cuivre s'est déposé dans la partie capillaire et s'est conservé intact comme dans les fissures des tubes fêlés, bien qu'il fût en contact d'un côté avec la dissolution de monosulfure.

On a mesuré avec un micromètre, au microscope, les diamètres des tubes capillaires dans lesquels la réduction s'est opérée, on a trouvé que le plus petit avait un diamètre de $0^{mm},06$ et le plus grand un diamètre de $0^{mm},18$. Voilà tout ce que j'ai pu trouver relativement à l'étendue mesurable directement de l'espace capillaire où la réduction est possible.

Quant aux limites inférieures des plus petits intervalles où le phénomène puisse avoir lieu, voici le procédé que j'ai employé pour les déterminer. On a opéré avec les deux plaques de cristal de roche polies, et on a rempli la cavité de l'une d'elles avec de la dissolution d'or. Les deux plaques, après avoir été disposées comme on l'a dit précédemment, ont été mises dans la dissolution de monosulfure de sodium. Les plaques avaient été tellement serrées l'une contre l'autre, qu'il se produisit çà et là des anneaux colorés dus à la présence de la dissolution d'or. Ces anneaux donnaient les

couleurs rouges et vertes, correspondantes à des épaisseurs de la couche de la dissolution d'or égales à 131,01 et 161,1 millionièmes de millimètre.

Les expériences de réduction faites avec les lames de verre ou de quartz, disposées, comme on vient de le dire, ont mis en évidence une propriété des actions capillaires qui ne sera pas sans intérêt pour l'analyse chimique des dissolutions métalliques.

J'avais soumis à l'expérience au lieu d'une dissolution d'or une dissolution de protochlorure de fer que l'on croyait pur. Quel fut mon étonnement, quand je m'aperçus, vingt-quatre heures après, que les bords des lames dans l'espace capillaire étaient recouverts de dendrites de cuivre métallique, et plus avant, dans l'intérieur, de pellicules de fer métallique. Les deux métaux avaient donc été séparés de la dissolution par l'action capillo-électrique.

Ce fait m'engagea à soumettre à l'expérience un mélange d'une dissolution de chlorure de fer, de chlorure de cuivre, de chlorure d'or et de chlorure de plomb; j'obtins successivement la réduction de ces différents métaux : voilà un principe à l'aide duquel on peut opérer le départ des métaux en dissolution.

L'emploi des poussières de verre ou de quartz introduites dans un tube fermé par un bout avec de la toile et tassées, a réussi également; la réduction métallique a eu lieu dans la masse des poussières, c'est-à-dire dans des espaces capillaires, mais plus lentement qu'avec l'appareil des lames de verre ou les tubes fêlés. Il faut dire aussi que les effets ne sont pas aussi faciles à apercevoir qu'avec les derniers.

Le papier parcheminé ou à dialyse est très-utile dans les

recherches électro-capillaires. M. Graham a découvert que ce papier, interposé entre de l'eau et une dissolution contenant, pour me servir de ses expressions, des cristalloïdes et des colloïdes, c'est-à-dire des substances qui jouissent de la propriété de cristalliser, et d'autres qui en sont privées, telles que la silice, l'alumine, les premières traversent la membrane en totalité, les secondes ne possédant pas cette propriété; c'est ainsi qu'il a pu les séparer complétement les uns des autres et obtenir une dissolution dans l'eau de silice presque pure. Tel est le phénomène de la dialyse; le papier qui le produit m'a servi au même usage que les tubes fêlés et les plaques de verre, et à mettre en évidence d'autres phénomènes curieux qui dépendent également des actions électro-capillaires; on verra plus loin pourquoi j'ai adopté cette dénomination dont je me suis déjà servi précédemment.

Le papier parcheminé est préparé comme il suit: on prend du papier à filtrer sans défauts que l'on plonge rapidement dans l'acide sulfurique à 66°, étendu de 15 p. 100 d'eau; on lave immédiatement à grande eau et on fait sécher, en évitant la moindre déchirure qui empêcherait la production des effets que l'on veut produire.

Les pores de ce papier sont de nature à produire les effets de réduction métallique, et ils ont en outre l'avantage, étant à peu près du même ordre, de pouvoir opérer dans les mêmes conditions, afin de comparer les résultats. Ce papier offre de la résistance; quoiqu'il soit altérable, il peut être employé néanmoins dans un certain nombre de cas, comme on va le voir.

On commence par fermer des tubes par un de leurs bouts

avec ce papier préalablement mouillé et assujetti sur la paroi extérieure avec un fil enduit de cire et enroulé plusieurs fois autour du tube. Il faut avoir la précaution d'enlever avec une lime les bords tranchants de l'extrémité des tubes, afin d'éviter que le papier ne soit déchiré. On remplit ces tubes de diverses dissolutions métalliques, puis on les plonge par le bout préparé dans la dissolution de monosulfure de sodium. On a obtenu avec cet appareil la réduction, sur la face du papier en contact avec la dissolution métallique, du cuivre, du plomb, de l'étain, de l'argent et de la plupart des métaux.

L'argent forme à la surface extérieure une petite masse de sulfure, mamelonnée, ayant de la dureté et un aspect cristallin, comme si elle avait été fondue; à la surface intérieure, il s'est déposé de l'argent métallique brillant comme dans l'expérience du tube fêlé.

Les nitrates de cuivre et de plomb donnent des résultats très-satisfaisants; les dépôts métalliques ont quelquefois plusieurs millimètres d'épaisseur.

Le platine, le cobalt et le nickel sont réduits plus difficilement, non plus à l'état brillant, mais sous la forme de très-petits tubercules noirâtres, prenant l'aspect métallique sous le brunissoir. La plupart du temps, les métaux sont perforés. Le chrome, sous le brunissoir, a montré des apparences de réduction, à en juger par l'éclat métallique que prennent de très-petites lamelles déposées. Mais la réduction est encore très-douteuse ainsi que celle de l'urane.

Le papier à dialyse, quand il a une certaine étendue, un décimètre carré, par exemple, présente des difficultés dans son emploi, parce qu'il se déchire quelquefois, et alors l'expérience est manquée; il suffit de la plus petite ouverture

non capillaire pour déterminer le mélange des dissolutions. Des tubes de 1 à 2 centimètres de diamètre donnent en général de bons résultats. Ce genre de diaphragme a l'inconvénient de laisser passer au bout de peu de temps la dissolution de monosulfure qui sulfure les métaux réduits.

On peut employer encore des tubes de 1 centimètre environ de diamètre, effilé par un bout à la lampe et terminé en tube capillaire d'environ $0^{mm},06$ de diamètre; le bec de ce dernier ne tarde pas à être obstrué de cuivre métallique, quand on opère avec une dissolution de nitrate de cuivre.

§ IV. — THÉORIE DES RÉDUCTIONS MÉTALLIQUES DANS LES ESPACES CAPILLAIRES.

Une expérience très-simple va montrer l'influence qu'exercent les membranes ou autres espaces capillaires sur la réduction métallique dans les conditions où j'ai expérimenté. On verse dans une éprouvette de verre une dissolution concentrée de nitrate de cuivre, puis lentement, au-dessus, une dissolution de monosulfure de sodium, ayant une densité moindre ; il se forme aussitôt au contact des deux dissolutions, un précipité de sulfure de cuivre qui tient nettement séparées les deux dissolutions. On n'observe jamais de cuivre réduit, comme dans les expériences précédentes, au contact du monosulfure de sodium et de la dissolution métallique dans les espaces capillaires ou quand les deux dissolutions sont séparées par une membrane ; il faut en conclure que la présence de la membrane ou celle d'un espace capillaire est indispensable pour la production du phénomène de la réduction métallique.

J'ajouterai que, dans les expériences de réduction, il y a souvent un dégagement de gaz dont la nature n'a pas encore été déterminée, vu la difficulté qu'on éprouve à les recueillir.

J'ai dit que toutes les dissolutions ne traversaient pas également bien les mêmes espaces capillaires, et que cette propriété variait avec leur étendue, la nature de la dissolution et son degré de concentration ; c'est là une considération à laquelle il faut avoir égard dans l'explication que l'on cherche à donner des phénomènes de réduction métallique dans les espaces capillaires.

Cette propriété ne paraît pas avoir de rapport avec celle découverte par M. Graham, suivant laquelle les colloïdes en dissolution sont arrêtées par le papier parcheminé, tandis que les dissolutions de cristalloïdes le franchissent sans difficulté, car on voit des dissolutions de cristalloïdes qui possèdent cette propriété et d'autres qui en sont privées.

J'arrive maintenant à la théorie :

En rapprochant les faits précédemment exposés de ceux dont on a fait mention au commencement de ce mémoire. Il est facile de montrer qu'ils ont une origine commune, c'est-à-dire qu'ils sont dus aux actions combinées des affinités de l'électricité et de l'attraction capillaire.

La première question que l'on peut m'adresser est celle-ci : d'où vient l'électricité, comment agit-elle comme force chimique dans les espaces capillaires pour opérer la réduction des métaux ?

Il est nécessaire, pour répondre à cette question, de rappeler les effets électriques produits dans les actions chimiques et les conditions en vertu desquelles l'électricité agit comme force chimique.

Lorsque deux liquides quelconques, conducteurs de l'électricité sont en contact et réagissent chimiquement l'un sur l'autre, ou seulement se mêlent ensemble, celui qui se comporte comme acide dégage de l'électricité positive, et celui qui agit comme alcali de l'électricité négative. Un fil de platine plonge-t-il par ses deux extrémités dans les deux liquides, un des bouts dans un liquide, l'autre dans le second, il en résulte un couple voltaïque dans lequel le bout de fil qui se trouve dans le liquide jouant le rôle d'acide, est le pôle négatif et l'autre le pôle positif. Si le courant est suffisamment intense et que les liquides soient facilement décomposables, il en résulte des effets électro-chimiques ; ainsi, le couple formé d'un fil de platine, d'une dissolution de potasse caustique et d'acide nitrique séparés l'une de l'autre par une membrane, par une couche d'argile ou par un diaphragme, qui s'oppose à leur combinaison immédiate, possède une force suffisante pour décomposer l'eau; il y a dégagement de gaz oxygène sur le bout de fil qui plonge dans la potasse, et décomposition de l'acide nitrique autour de l'autre bout de fil par la réaction de l'hydrogène sur l'acide, d'où résulte un dégagement de gaz nitreux.

Prenons maintenant un des appareils précédemment décrits, celui, par exemple, qui est formé d'une éprouvette remplie d'une dissolution de monosulfure de sodium, dans laquelle plonge un tube fêlé contenant une dissolution saturée de nitrate de cuivre, communiquant avec l'autre dissolution par l'intermédiaire de la fissure ; si l'on plonge dans chaque liquide un fil de platine, mis chacun en communication avec l'une des extrémités du fil formant le circuit d'un galvanomètre, l'aiguille aimantée est déviée, et le sens de la

déviation indique que le bout qui plonge dans la dissolution de nitrate fournit au courant l'électricité positive et le bout qui est dans le monosulfure l'électricité négative. En opérant avec un fil de cuivre, l'extrémité qui plonge dans la dissolution se recouvre immédiatement de cuivre, tandis que l'autre s'oxyde; avec le fil de platine on obtient également la réduction, mais il faut plus de temps.

Si l'on enlève le fil de cuivre, la couche de liquide qui se trouve dans la fissure du tube et qui adhère à la paroi le remplace, et on obtient les mêmes effets chimiques; le circuit électro-chimique est constitué de même dans les deux cas. Tous les faits observés anciennement et ceux qui font l'objet de ce mémoire ne laissent aucun doute à cet égard.

Les faits anciens sont :

1° La formation du sulfure de plomb; 2° la réduction de l'oxyde de cobalt dans des tubes capillaires et la cristallisation de l'amalgame de plomb.

Les faits nouveaux les plus décisifs sont les expériences de mon fils Edmond, prouvant que la conductibilité des liquides renfermés dans des tubes capillaires est plus grande que ne le comporte la section de la colonne liquide. Ce fait important tend à prouver que l'augmentation de densité de la couche liquide retenue à la surface du verre par l'attraction moléculaire, intervient pour former un circuit voltaïque composé seulement de liquides. Dans un prochain mémoire on donnera des preuves incontestables de l'intervention du liquide renfermé dans les espaces capillaires pour constituer un circuit électro-chimique.

Il semble résulter de là, comme je l'avais mentionné au commencement de ce mémoire, dans mes précédentes re-

cherches, que des circuits électro-chimiques peuvent exister dans la nature organique sans l'intervention d'aucun métal. Il suffit en effet de la présence de deux liquides, séparés par des espaces capillaires ou des tissus, pour constituer de semblables circuits. C'est sous ce point de vue que les phénomènes que je viens d'exposer sont de nature à intéresser la chimie, la géologie, la physiologie et les sciences naturelles en général.

L'étude de ces phénomènes, et je m'en suis assuré par l'expérience, exige qu'au préalable on se rende compte des effets électriques produits dans le contact des deux dissolutions soumises à l'expérience, effets qui doivent diriger dans le choix des dissolutions et la disposition des appareils, en même temps qu'ils indiquent à l'avance les produits qu'il est possible d'obtenir dans la réaction de deux dissolutions l'une sur l'autre, par le concours simultané des affinités de l'électricité et des actions capillaires.

Deux faits viennent encore prouver l'existence d'un circuit électro-chimique sans métal et que je dois rapporter.

Il arrive presque toujours avec les appareils composés de lames de verre, que, lorsque le cuivre, l'argent, l'étain, les métaux oxydables, enfin, sont déposés, ils restent intacts, tant que l'on ne retire pas les lames de la dissolution de monosulfure de sodium ; mais, une fois dehors, les métaux se sulfurent, ce qui ne peut avoir lieu qu'en admettant que, dans ce cas-ci, ils cessent d'être dans un état négatif, qui est éminemment favorable à leur conservation, comme le prouvent les expériences de Davy et les miennes sur la conservation du doublage en cuivre des vaisseaux au moyen de plaques de fer ou de fonte mises en contact avec ce doublage.

Un autre *fait* que j'avais déjà observé dans les appareils électro-chimiques simples à l'aide desquels j'ai reproduit un certain nombre de substances minérales, se présente également dans les appareils électro-capillaires : dans l'appareil avec les tubes fêlés, la dissolution de nitrate de cuivre et celle de monosulfure, on a vu précédemment que la fêlure et la paroi intérieure du tube se recouvraient de cuivre métallique; mais, lorsque l'expérience a quelque durée et que la fente est en grande partie obstruée par le dépôt, l'intensité du courant est alors diminuée, au lieu de cuivre métallique déposé, on a des cristaux tétraèdres de protoxyde de cuivre; c'est là une démonstration de l'existence d'un courant électrique agissant comme force chimique.

Lorsque l'on introduit dans un tube de verre dont l'un des bouts est effilé à la lampe, puis des filaments très-déliés d'asbeste, l'espace est alors trop étroit pour que le mélange des liquides puisse s'effectuer; si l'on plonge ce tube renfermant un liquide quelconque, conducteur de l'électricité, par son extrémité capillaire, dans un autre liquide ayant une forte affinité pour celui qui est dans le tube, il ne se produit aucun effet chimique sensible.

Cet état de choses n'empêche pas toutefois que le courant provenant d'une pile à sulfate de cuivre de dix éléments, transmis à l'aide de deux lames de platine plongeant dans les liquides, ne traverse l'espace capillaire. On peut s'adresser cette question : Que se passe-t-il dans les liquides qui ne peuvent se mêler, l'espace capillaire étant trop étroit pour qu'il y ait déplacement des liquides. Les expériences suivantes répondront à cette question.

Première expérience. Deux solutions saturées, l'une de

chlorure de barium, l'autre de sulfate de soude, ont été introduites dans deux vases communiquant ensemble par un tube capillaire ne permettant pas le mélange de ces deux solutions ; l'électrode positive plongeait dans la solution de chlorure de barium, l'électrode négative dans celle de sulfate de soude ; l'eau a été décomposée, ainsi que le chlorure et le sulfate ; le chlore est devenu libre au pôle positif, la baryte au pôle négatif dans la dissolution de sulfate, où l'acide sulfurique, devenu libre, s'est combiné, à l'entrée de l'espace capillaire, avec la baryte, d'où est résulté du sulfate de baryte qui est tombé au fond du vase en lames très-transparentes et insolubles dans les acides.

Seconde expérience. En opérant inversement, c'est-à-dire en mettant l'électrode positive dans la dissolution de sulfate de soude et l'électrode négative dans celle de chlorure de barium, il s'est formé les produits suivants :

Dans le tube, la baryte a cristallisé en prismes hexaèdres terminés par des pyramides ; puis il y a eu de la soude libre ; dans le vase positif, on a trouvé du chlore et de l'acide sulfurique. L'eau a été également décomposée avec dégagement de gaz à leurs pôles respectifs.

§ V. — DE LA FORMATION DES COMPOSÉS INSOLUBLES PAR L'INTERVENTION DES ACTIONS ÉLECTRO-CAPILLAIRES.

Plusieurs appareils ont été employés pour la formation de ces composés : le premier consiste à prendre deux tubes

d'un centimètre environ de diamètre, effilés à la lampe à l'un de leurs bouts en tubes capillaires; chaque tube est rempli d'une dissolution différente, les deux dissolutions devant produire un précipité par leur réaction; on introduit dans la partie capillaire de l'un l'extrémité capillaire de l'autre, d'où résulte aussitôt un précipité. Le deuxième appareil est celui des tubes fêlés; le troisième est un tube fermé d'un côté avec le papier à dialyse; le quatrième appareil, celui de deux lames de verre fortement pressées l'une contre l'autre.

Avec ces quatre appareils, on se sert d'une éprouvette ou d'une capsule contenant l'une des dissolutions soumises à l'expérience. Le premier étant souvent obstrué est employé rarement, on l'indique seulement ici comme moyen d'expérimentation.

En général, les produits formés, c'est-à-dire les précipités, sont à l'état cristallin; tantôt les cristaux ont des formes bien déterminées, tantôt ils ne présentent au microscope que des aiguilles ou des lamelles accusant l'état cristallin. Si les forces en présence agissaient très-lentement, on aurait probablement des cristaux d'une certaine grosseur et très-nets. Peut-être y parviendra-t-on en modifiant les appareils dont on vient de parler, mais en conservant toutefois le principe.

J'indiquerai quelques-uns des résultats obtenus avec les tubes fêlés :

1° Dans le tube, dissolution de silicate de potasse; éprouvette, dissolution d'aluminate de la même base. Cette dernière dissolution s'est introduite dans le tube, où elle a formé une infinité de filaments tortueux de silicate d'alumine, très-longs, dont les parties sont à l'état vitreux, mais sans apparence de forme.

2° Dans le tube, dissolution de chlorure de calcium ; dans l'éprouvette, dissolution de bi-carbonate de soude. Production dans le tube de cristaux rhomboédriques de carbonate de chaux appartenant à la variété primitive; les cristaux sont très-nets et visibles quelquefois à l'aide d'une forte loupe.

3° Tube, dissolution de nitrate de plomb; éprouvette, dissolution de bichromate de potasse, production de chromate de plomb, dans le tube, d'un jaune légèrement orangé en très-petits cristaux ayant la forme appartenant au système de cristallisation du chromate de plomb naturel.

Ces petits cristaux forment des groupes très-déliés suspendus dans la dissolution ou adhérant aux parois du tube.

4° Tube, dissolution de chlorure de barium; éprouvette, dissolution de sulfate de soude; précipité cristallin dans le tube de sulfate de baryte et non adhérent aux parois.

5° Tube, chlorure de barium; éprouvette, bicarbonate de soude; formation de cristaux microscopiques de carbonate de baryte paraissant appartenir au dodécaèdre à triangles scalènes, comme le carbonate naturel.

6° Tube, fermé avec le papier à dialyse et renfermant du nitrate de plomb et, l'éprouvette, du sulfate de soude; la dissolution de nitrate de plomb traverse le papier et forme des stalactites ayant leur base sur la surface extérieure, et formées de sulfate de baryte en aiguilles cristallines excessivement fines.

En opérant inversement, les stalactites de sulfate de baryte se forment dans le tube.

7° Tube, phosphate de soude; éprouvette, chlorure de calcium; production dans le tube d'un très-grand nombre de

filaments déliés stalactiformes d'un décimètre de hauteur, de phosphate de soude dont les fragments sont cristallins. Rien dans l'éprouvette.

8° Tube, dissolution de sulfate de soude marquant 5° à l'aréomètre; éprouvette, dissolution de nitrate de plomb; production de sulfate de plomb cristallin en stalactites dans le nitrate.

En opérant d'une manière inverse, c'est-à-dire en mettant le nitrate de plomb dans le tube et le sulfate dans l'éprouvette, les effets sont inverses; le sulfate de plomb est formé de stalactites.

Dans ces deux expériences, la densité des dissolutions était la même, ainsi que les hauteurs, afin de montrer que les effets étaient indépendants de la densité et de la pression exercée sur les colonnes liquides.

Je pourrais rapporter un plus grand nombre de faits, mais ceux qui précèdent suffisent pour montrer que toutes les dissolutions de cristalloïdes, c'est-à-dire de composés qui cristallisent ne possèdent pas toutes la propriété de traverser le papier à dialyse, lors même que les dissolutions contiennent des sels ayant une forte affinité les uns pour les autres. Ils montrent en outre que les précipités résultant des doubles décompositions sont en général cristallins ou cristallisés régulièrement.

Les doubles décompositions produites sous l'influence de l'attraction moléculaire s'opèrent différemment sous le rapport du mode d'action des réductions métalliques. On vient de voir que, suivant la nature de la dissolution, le précipité stalactiforme se produit dans une dissolution ou dans une autre, et que celle qui traverse le papier à dialyse semble être



projetée dans l'autre; c'est pendant son trajet dans celle-ci qu'elle est décomposée.

Il semble donc que la dissolution, en traversant les pores du papier comme dans des filières, est poussée par une force d'impulsion. Qu'est-ce qui détermine cette force d'impulsion? On serait porté à croire qu'elle est le résultat d'une détente agissant d'une manière continue; la différence de niveau et de densité n'interviennent en rien, comme on l'a vu plus haut. Cette détente ne proviendrait-elle pas de ce que la couche de liquide qui a été condensée par l'action capillaire, devenant libre par le jeu des affinités, s'échappe avec une vitesse en rapport avec la condensation, d'où résulte une foule de petits stalactites qui s'accroissent par l'arrivée non interrompue de nouvelles matières; ce n'est là toutefois qu'une hypothèse.

Je rappellerai à ce sujet les expériences que j'ai faites jadis sur la production des doubles carbonates, doubles phosphates, etc., lesquels ont présenté des effets analogues.

Ayant laissé séjourner pendant quelque temps de la craie de Meudon dans une dissolution saturée de nitrate de cuivre, la surface s'est recouverte de cristaux aciculaires de nitrate basique de cuivre. La craie ayant été retirée de la dissolution de nitrate de cuivre, puis lavée à grande eau, fut plongée dans une dissolution saturée de bicarbonate de soude. On vit surgir aussitôt de toutes parts, de l'intérieur du morceau de craie, des fusées de gaz acide carbonique accompagné de nitrate de chaux, venant de l'intérieur et produisant, en traversant la dissolution de bicarbonate, un composé insoluble de double carbonate de chaux et de soude. Cette fusée était due au gaz carbonique et au nitrate de chaux retenus dans

l'intérieur par la capillarité et qui, devenant libres par l'action exercée sur ces corps par le bicarbonate, s'échappaient aussitôt.

On conçoit, d'après le mode d'intervention des surfaces sur les dissolutions qui y sont adhérentes et celle des espaces capillaires dans lesquelles elles pénètrent, quels sont les changements chimiques qui peuvent avoir lieu lorsque ces dissolutions exercent déjà des actions chimiques sur ces surfaces. Les exemples suivants en fourniront des exemples :

On a fait couler lentement et d'une manière continue sur des lames de sulfate de chaux placées entre deux lames de verre, de l'eau distillée; la surface n'a pas tardé à présenter un aspect chatoyant dû à l'action dissolvante de l'eau qui, s'exerçant plus facilement dans le sens du clivage que dans toute autre direction, en raison d'une force de cohésion moindre, a mis à découvert les joints du clivage principal, d'où sont résultées sur la surface des stries nombreuses parallèles qui ont donné au gypse un aspect chatoyant que l'on retrouve sur la surface des minéraux qui ont dû éprouver une action semblable.

En substituant à l'eau une dissolution saturée de sulfate de potasse, on a obtenu un double sulfate de potasse et de chaux cristallisé en aiguilles, soluble dans l'eau.

En substituant au sulfate de potasse une dissolution de silicate de cette base marquant de 6 à 10° aréométriques, on a vu se former, au milieu de différents produits, des cristaux radiés en aiguilles terminés par des biseaux; ces cristaux ont pris de l'accroissement de jour en jour, se sont superposés les uns au-dessus des autres, et ont fini par présenter une surface confuse ayant un aspect nacré; ces cristaux sont fu-

sibles en émail au chalumeau, insolubles dans l'eau, solubles dans l'acide chlorhydrique concentré ou étendu, en laissant un dépôt de silice gélatineuse; la dissolution ne contenait que du chlorure de calcium et du chlorure de potassium. Ces cristaux appartiennent donc à un double silicate de potasse et de chaux. Tous ces caractères rapprochent ce silicate de l'apophyllite, dont il ne diffère que par la solubilité dans l'acide chlorhydrique.

En résumé, les nouvelles recherches capillo-électriques dont je viens d'exposer les principaux résultats à l'Académie et qui sont la suite de celles que j'ai entreprises depuis trente-cinq ans sur le même sujet, mettent bien en évidence le principe que j'avais déjà posé à cette époque: à savoir que deux dissolutions de nature différente, conductrices de l'électricité, séparées par une membrane organique ou par un espace capillaire, constituent un circuit électro-chimique, pouvant donner lieu à des effets chimiques:

1° Les circuits de cette nature dans lesquels ne se trouve aucun conducteur métallique, permettent de réduire à l'état métallique la plupart des métaux, à l'exception du zinc, et quelquefois du fer, peut-être à cause de la facilité avec laquelle ils se sulfurent, et de quelques autres métaux. Les métaux qu'on réduit facilement sont le platine, l'or, l'argent, le cuivre, l'étain, le plomb, le cobalt, le nickel, etc. : il est douteux que le chrome soit réduit; on a obtenu cependant avec le papier à dialyse des lamelles grisâtres qui prennent l'éclat métallique par le frottement d'un corps dur.

2° Ces circuits permettront d'obtenir des sulfures métalliques, des oxydes cristallisés, notamment le protoxyde de cuivre, le protoxyde de plomb anhydre ou massicot, etc.;

3° Les sulfates de baryte et de plomb à l'état cristallin, les carbonates de chaux et de baryte en cristaux rhomboédriques, le silicate de chaux cristallisé, etc., etc. Il est douteux que l'électricité intervienne dans la formation de ces composés.

L'ensemble des faits observés jusqu'ici, en y rattachant tout ce que nous savons sur les propriétés de l'éponge de platine et des corps poreux, les affinités capillaires antagonistes, les effets de teinture, etc., composent une partie de la chimie qu'on pourrait appeler chimie capillaire.

Les couples voltaïques sans métal, par le contact des liquides dans les espaces capillaires, formant des circuits fermés, dont on a fait connaître les principaux effets dans ce mémoire, laissent entrevoir le rôle important qu'ils peuvent jouer dans les corps organisés composés de vaisseaux donnant écoulement à des liquides de nature différente, de membranes et de tissus humectés de divers liquides pouvant tous produire des effets semblables à ceux qui ont été décrits dans ce mémoire.

SECOND MÉMOIRE

SUR

LES EFFETS CHIMIQUES

PRODUITS DANS LES ESPACES CAPILLAIRES

PAR M. BECQUEREL

MEMBRE DE L'ACADÉMIE.

Lu dans les séances des 13 mai et 17 juin 1867.

§ I. — *Causes physiques et chimiques qui interviennent dans la réduction métallique.*

Je reviens dans ce Mémoire sur plusieurs des faits exposés dans le premier, afin de bien faire connaître les causes auxquelles il faut attribuer leur production, et de montrer en même temps les conséquences que l'on peut en tirer pour les sciences physico-chimiques, la géologie et la physiologie.

La réduction des métaux dans les espaces capillaires, dont j'ai déjà eu l'honneur d'entretenir l'Académie, ne saurait être expliquée, comme on a essayé de le faire, en faisant intervenir seulement l'attraction moléculaire : elle est due aux ac-

tions combinées des affinités, de l'attraction moléculaire et de l'électricité.

Je reviens dans ce Mémoire sur ce triple concours, afin de donner de nouvelles preuves à l'appui de celles que j'ai déjà présentées, et de démontrer surtout l'intervention de l'électricité dans le phénomène de la réduction des métaux. J'exposerai ensuite de nouveaux faits relatifs aux actions chimiques qui ont lieu dans les espaces capillaires et à la production desquels l'électricité ne paraît pas jouer un rôle direct, si toutefois elle intervient, comme dans la réduction.

Rien n'est plus simple que de démontrer l'influence de l'électricité dans la production de ce phénomène. On emploie à cet effet l'appareil composé d'un tube de verre fêlé, rempli d'une dissolution métallique, de nitrate de cuivre, par exemple, que l'on plonge dans une éprouvette contenant une dissolution de monosulfure de sodium; si l'on plonge dans chacune d'elles l'un des bouts d'un fil de cuivre, on forme alors un couple électro-chimique simple, composé de deux dissolutions réagissant l'une sur l'autre par l'intermédiaire des fissures du tube, et d'un fil de cuivre. La dissolution acide rend libre de l'électricité positive, et l'autre de l'électricité négative. Le bout du fil de métal qui se trouve dans la dissolution alcaline étant attaqué est le pôle positif, tandis que l'autre bout, qui plonge dans la dissolution métallique, est le pôle négatif et se recouvre de cuivre; de l'autre côté, il y a production d'hyposulfite de soude et de nitrate de soude; en peu de temps, la dissolution de nitrate de cuivre est décomposée. Pendant ces réactions, la fissure n'agit que pour établir le contact des deux dissolutions et transmettre le courant électrique résultant de cette réaction et de l'action chi-

mique du monosulfure sur le cuivre; on n'aperçoit aucune trace de cuivre métallique dans l'intérieur de la fissure et sur la portion de la surface intérieure du tube qui l'environne. Vient-on à retirer le fil de cuivre et à supprimer ainsi tout conducteur métallique, on observe aussitôt les effets suivants: la fissure se remplit de petits cristaux de cuivre métallique, ainsi que la paroi intérieure du tube; celle-ci se recouvre même quelquefois d'une couche brillante de cuivre; on voit donc qu'en l'absence du fil de cuivre, certaines parties de la fissure en remplissent les fonctions. Le couple se compose alors de deux dissolutions et des parois de la fissure, dans laquelle pénètrent ces dernières par l'action capillaire; ces liquides se trouvent dans un état moléculaire différent de celui qu'ils présentent au dehors et au milieu de la fissure, condition qui suffit, comme je l'ai démontré il y a déjà longtemps, pour constituer un couple sans métal.

Dans le cas actuel il y a deux courants qui s'ajoutent, parce qu'ils sont dirigés dans le même sens, l'un dû à la réaction des liquides, l'autre provenant de l'oxydation du métal. Lorsque la fissure est remplie de métal, il arrive quelquefois qu'aucun contact n'existe entre les deux liquides; alors le couple cesse de fonctionner. Avec l'appareil à deux plaques de verre ou de cristal, et dont l'une est creusée au milieu pour recevoir la dissolution métallique, le système plongeant dans une dissolution de monosulfure de sodium, les effets de réduction quelquefois sont continus et complets, quelquefois ils ne le sont qu'imparfaitement; cela tient sans doute à la difficulté qu'éprouvent les deux dissolutions à se joindre çà et là dans l'intervalle capillaire d'une grande étendue, difficulté qui n'a pas lieu dans une fêlure. L'expérience

réussit parfaitement quand l'intervalle capillaire entre les deux lames est rempli de la dissolution métallique et qu'il se forme un bourrelet de sulfure métallique sur les bords.

J'ajouterai une observation qui n'est pas sans quelque importance, et qui vient à l'appui de la conclusion à laquelle je suis parvenu : dans le couple formé de deux dissolutions et d'un fil de cuivre, le bout de fil qui est dans la dissolution de monosulfure est fortement attaqué et se recouvre de sulfure noir. Il en est de même dans le couple où le fil de cuivre est remplacé par la fissure; la face du cuivre déposé dans celle-ci, et qui se trouve en contact avec la dissolution de monosulfure, est également noire et par conséquent sulfurée.

Les effets dont on vient de parler sont les mêmes avec d'autres dissolutions métalliques, notamment avec celle de nitrate d'argent. On conçoit d'après cela qu'aussitôt qu'il y a quelques parcelles d'argent de déposées dans les premiers temps, il y a double effet de produit : un effet résultant du couple formé par les deux liquides et par les parcelles de métal, et un autre dû au couple fonctionnant avec les deux mêmes dissolutions et la fissure.

Ces expériences prouvent de nouveau que les espaces capillaires et deux liquides différents qui communiquent ensemble par leur intermédiaire, constituent un groupe voltaïque pouvant produire des actions chimiques, mais avec cette différence toutefois que ces espaces étant beaucoup moins bons conducteurs de l'électricité que les fils métalliques à section égale, les effets électro-chimiques doivent être beaucoup moindres.

Il est donc bien démontré maintenant que, dans les con-

ditions où mes expériences ont été faites, la réduction des métaux est bien due au concours simultané des affinités, de l'action capillaire et de celle de l'électricité dégagée dans la réaction l'une sur l'autre des deux dissolutions qui pénètrent dans la fissure du verre.

Il résulte de là, comme j'en fournirai plus loin des preuves, que dans les appareils simples dont je me sers depuis quarante ans pour former des composés insolubles cristallisés, dont un certain nombre ont leurs analogues dans la nature, on peut remplacer les diaphragmes en kaolin d'une certaine épaisseur et placés au bas des tubes pour retarder autant que possible le mélange des dissolutions, par des fêlures ou espaces capillaires très-étroits.

Je reviendrai, dans le dernier paragraphe de ce Mémoire, sur les effets produits par ce mode de communication, qui n'est efficace que lorsque les espaces capillaires n'ont pas une étendue suffisante pour que le mélange des liquides se fasse rapidement.

§ II. — *Dispositions diverses et emploi d'une lame métallique dans l'intervalle capillaire.*

On peut disposer l'appareil composé de lames ou plutôt de plaques de cristal, de manière à forcer l'introduction du liquide dans l'intervalle capillaire où s'opère la réduction des métaux, dans le but surtout de prolonger cette action. Voici comment on obtient ce résultat : On prend une plaque de cristal de 1 centimètre d'épaisseur et de 7 à 8 centimètres de côté, et percée au milieu de part en part d'une ouverture de



5 millimètres de diamètre, puis l'on fixe sur l'une des faces de cette ouverture, avec du mastic appliqué à chaud, un tube de verre ayant un diamètre un peu plus grand de 1 décimètre de hauteur, et on applique sur la face opposée de la plaque une lame de verre pour fermer l'ouverture, que l'on assujettit dessus avec des fils croisés perpendiculairement; l'espace capillaire où doit s'opérer la réduction se trouve entre la plaque et la lame. Cette préparation faite, on verse dans le tube la dissolution métallique sur laquelle on veut opérer, afin de remplir cet espace et de chasser l'air, avant l'immersion de l'appareil dans la dissolution de monosulfure de sodium; aussitôt après, il se forme autour des plaques un bourrelet de sulfure qui s'oppose à la sortie de la dissolution métallique et favorise les réactions. On modère la hauteur de la colonne liquide dans le tube, de manière à ne pas vaincre l'action capillaire et à provoquer la sortie de la dissolution métallique de l'appareil.

Malgré cette addition, il arrive encore souvent que la dissolution métallique ne se répand pas uniformément sur la surface de la plaque et sur celle de la lame en contact avec elle, parce qu'il existe çà et là de l'air ou des corps étrangers sur ces surfaces qui s'y opposent. Il y a un moyen fort simple de rendre l'action réductive uniforme : il suffit d'appliquer sur la lame de verre qui ferme l'ouverture de la plaque une feuille d'or ou de platine, afin d'ajouter les effets provenant de l'action capillaire à ceux produits par l'action du couple formé des deux dissolutions et de la feuille métallique. Cette disposition a permis d'obtenir une espèce d'application de métal sur un autre métal, comme dans la dorure à la pile; c'est là le premier indice des applications

qu'on pourrait en faire. On a pu ainsi déposer du nickel sur une feuille d'or et du cuivre sur une feuille d'argent. Je reviendrai sur ces dépôts dans un troisième Mémoire.

On voit par là comment il peut se faire que l'action chimique de l'électricité vienne en aide à celle qui est produite par l'action capillaire. Ce concours de l'attraction capillaire et de l'électricité dans l'étude du phénomène dont je m'occupe, est d'un grand secours quand les phénomènes ont une faible intensité.

§ III. — *Des effets obtenus en substituant au monosulfure de sodium d'autres dissolutions, et de divers autres effets produits dans les espaces capillaires.*

Lorsque l'on remplace la dissolution de monosulfure de sodium ou celle de sulfhydrate d'ammoniaque, qui donne des effets rapides, par une autre de potasse ou de soude caustique, la réduction métallique n'a pas lieu; il se dépose seulement sur la paroi intérieure du tube qui contient la dissolution métallique, celle de nitrate de cuivre par exemple, de très-petits cristaux d'hydrate de cuivre, puis de l'oxyde noir ou deutoxyde anhydre de cuivre, qui forme un bourrelet assez épais sur et autour de la fêlure. Ces effets se produisent également avec les appareils électro-chimiques simples, quand le courant électrique n'a plus qu'une faible intensité, soit parce que le dégagement de l'électricité est faible, soit parce que la conductibilité est devenue moindre.

Il suit de là qu'à conductibilité égale, plus l'affinité des deux dissolutions qui réagissent l'une sur l'autre sera grande, plus les effets électro-chimiques seront marqués.

La dissolution du glucose dans la soude caustique avec celle de nitrate de cuivre et l'appareil à lames de verre, produisent difficilement et lentement la réduction du cuivre; cette réduction, toutefois, présente des différences avec celle que l'on obtient avec le monosulfure de sodium; le métal se dépose sur les bords des lames en couches excessivement minces et très-brillantes. Cette réduction n'est pas due à la réaction immédiate des deux dissolutions l'une sur l'autre, sans l'intervention capillaire, car si l'on mêle ensemble les deux dissolutions, on a un simple précipité sans réduction métallique, même au bout de plusieurs jours.

L'eau salée concentrée et le nitrate de cuivre, avec l'appareil à tube fêlé, donnent un bourrelet de très-petits cristaux qui appartiennent probablement à l'hydrate de ce métal.

Il est facile d'expliquer, suivant moi, pourquoi les effets sont plus marqués avec les sulfures qu'avec toute autre dissolution; deux causes concourent à la production d'un courant, l'action chimique d'une des dissolutions sur le métal oxydable et la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre : or les expériences de mon fils Edmond prouvent qu'en prenant pour dissolution les liquides suivants, on a pour la force électro-motrice résultant de leur action réciproque :

	Force électromotrice.
Eau saturée de sulfate de cuivre et eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	5,50
Eau acidulée au dixième et acide azotique ordinaire, de. .	19,25 à 21
Dissolution de protosulfate de fer et eau chlorée saturée. .	47,00
Dissolution de persulfure de potassium et acide azotique ordinaire.	72,58

On voit par là combien la dissolution de sulfure de potassium l'emporte sur les autres dissolutions pour donner un courant électrique intense dans son action sur d'autres dissolutions.

Je rapporterai maintenant des effets d'un autre genre qui ont leur degré d'intérêt dans l'étude des phénomènes électro-capillaires.

Lorsqu'on introduit dans un tube fêlé, fermé par un bout à la lampe, une dissolution de bicarbonate alcalin, et qu'on le plonge dans une éprouvette contenant un acide quelconque concentré ou non concentré, l'acide traverse la fissure, réagit sur le bicarbonate avec dégagement de gaz acide carbonique, tandis qu'il ne se produit aucun dégagement dans l'éprouvette ; la dissolution de bicarbonate ne traverse donc pas la fissure.

L'appareil préparé avec le papier à dialyse donne les mêmes effets. Si l'on évapore l'acide, à peine trouve-t-on des traces de matière saline.

Concluons-en que, dans les conditions où j'ai opéré, et lorsque la fêlure est partout uniforme et très-étroite, les dissolutions de carbonate sont privées de la faculté de traverser les fêlures. Il y a deux manières d'expliquer cette propriété :

1° En admettant que les espaces capillaires exercent une action attractive plus grande sur les acides que sur les dissolutions salines ; dans ce cas, ces dernières sont en quelque sorte expulsées de ces espaces, l'acide pénètre dans la dissolution, où le dégagement de gaz a lieu précisément à la sortie de la fêlure, comme on l'observe.

2° En s'appuyant sur la théorie électro-chimique : le cou-



ple voltaïque étant formé des deux dissolutions et de la fissure par l'intermédiaire de laquelle elles agissent l'une sur l'autre, la partie intérieure de cette fissure est le pôle positif du couple, puisqu'elle est en contact avec la dissolution, qui se comporte comme un alcali par rapport à l'acide; il paraît donc naturel que le dégagement de gaz ait lieu comme on l'observe, c'est-à-dire sur la face intérieure de la fissure.

Dans une autre expérience, on a substitué à la dissolution de bicarbonate, dans le tube, de l'eau colorée par la teinture de tournesol; à l'instant de l'immersion du tube dans l'acide, on a vu la couleur bleue virer au rouge près de la fêlure, tandis que l'on n'a observé aucune coloration dans l'acide, preuve que l'eau et la matière colorante n'ont pas traversé sensiblement l'espace capillaire pendant la durée de l'expérience.

Enfin, en remplaçant l'eau qui se trouve dans le tube par une dissolution de potasse caustique marquant 10 degrés à l'aréomètre et colorée par la teinture de tournesol, l'acide n'a présenté non plus aucune trace de coloration en rouge.

§ IV. — *Des effets produits avec divers diaphragmes.*

Les diaphragmes que j'ai particulièrement essayés, à part le papier à dialyse dont j'ai déjà parlé, sont le verre et le quartz broyés en parties ténues, le sable fin et le plâtre gâché, et dont les interstices sont des espaces capillaires.

Avec du sable fin ou du quartz pilé introduit dans des tubes fermés avec un morceau de toile fixé avec un fil sur la paroi extérieure, et formant des diaphragmes de 4 à 5 centi-

mètres de hauteur, on a obtenu les résultats suivants avec diverses dissolutions métalliques placées dans le tube, et la dissolution de monosulfure de sodium dans l'éprouvette, en faisant remarquer, toutefois, qu'une première condition à remplir est que le sable soit assez fin et que la hauteur de la colonne soit suffisante pour que le mélange des deux dissolutions soit très-lent à s'effectuer.

En donnant une hauteur suffisante à la colonne de sable, on opère dans de très-bonnes conditions et on a l'avantage surtout, quand la dissolution métallique contient plusieurs métaux, de voir une séparation assez nette entre les différents métaux réduits, leurs dissolutions ne jouissant pas toutes également, au même degré, de la faculté d'être décomposées dans ces appareils.

La plupart des métaux sont réduits de leurs dissolutions avec l'appareil à colonne de sable et la dissolution de monosulfure de sodium.

Le cuivre est réduit d'une dissolution de nitrate, sous forme de dendrites, dans toute la hauteur de la colonne de sable, lors même qu'elle a 5 centimètres de hauteur; il en est de même de l'or, de l'argent, du cobalt, du nickel, etc.

Une dissolution à parties égales de nitrate de cuivre et de nitrate d'argent donne d'abord de l'argent en dendrites ou en plaques; le cuivre vient ensuite, mais longtemps après.

Avec le plâtre gâché, on obtient la réduction du platine, du cobalt, etc., et des indices de réduction du chrome.

La nature des parois des intervalles capillaires ne paraît exercer aucune influence sur le phénomène de la réduction métallique; car, en opérant avec des lames de verre, si l'on interpose entre elles une feuille de papier, ou bien si l'on

applique sur l'une d'elles une couche très-mince de vernis, le métal se dépose soit sur la feuille de papier, soit sur la couche de vernis. Ainsi les effets que l'on vient d'exposer sont indépendants de la nature des parois sur lesquelles s'exerce l'attraction moléculaireàt : il n'y a pas là d'affinité dite capillaire.

§ V. — *De la substitution des fêlures des tubes aux diaphragmes en kaolin humides, dans les appareils électro-chimiques simples.*

Les appareils électro-chimiques simples qui m'ont servi jusqu'ici à former un grand nombre de produits insolubles cristallisés sont composés d'un tube de 1 centimètre environ de diamètre, fermé à la partie inférieure par de l'argile ou du kaolin humide retenu avec de la toile fixée sur la paroi extérieure avec du fil. Ce tube rempli d'une dissolution plonge dans une éprouvette contenant une autre dissolution; dans chacune d'elles plonge une lame de métal différent, les deux lames sont mises en communication pour former un couple électro-chimique. On peut supprimer maintenant le diaphragme d'argile et se borner à opérer avec un tube fêlé, fermé par en bas à la lampe; la fissure par laquelle les deux dissolutions réagissent très-lentement l'une sur l'autre remplace le diaphragme; les effets varient suivant l'étendue de la fissure en largeur, c'est-à-dire suivant l'action capillaire qu'elle exerce.

Le couple dit couple à gaz oxygène, qui est un des premiers couples à courant constant que j'ai fait connaître, est composé d'un tube fermé par un bout avec une membrane

ou du kaolin et rempli d'une dissolution de potasse caustique et plongeant dans une éprouvette contenant de l'acide nitrique ordinaire, puis d'un fil de platine qui complète le circuit dont chaque bout plonge dans l'un des deux liquides; il se dégage aussitôt du gaz oxygène sur le bout du fil de platine qui plonge dans la dissolution de potasse; tandis qu'il se produit du gaz nitreux dans l'éprouvette, par suite de la réaction de l'hydrogène, qui se dégage à l'autre bout, sur l'acide nitrique. On obtient les mêmes effets en opérant avec un tube fêlé fermé par un bout à la lampe au lieu de l'être avec du kaolin.

Avec l'appareil électro-chimique simple et la fermeture du tube avec le kaolin, on obtient, comme je l'ai démontré anciennement, les sulfures et iodures simples et doubles; il en est de même avec le tube fêlé, mais avec cette différence toutefois que la fissure quand elle est excessivement étroite, conduisant très-mal l'électricité, on obtient quelquefois des résultats différents; ainsi, en expérimentant avec l'iodure de potassium, on obtient toujours avec le premier appareil d'abord un double iodure de potassium et de plomb, en aiguilles très-blanches, d'un blanc satiné, puis l'iodure jaune de plomb cristallisé; avec le deuxième appareil, le double iodure est quelquefois nettement cristallisé par suite d'une action très-lente.

RÉSUMÉ.

Il est démontré dans ce Mémoire :

1° Qu'un espace capillaire placé entre une dissolution métallique et une dissolution de monosulfure alcalin constitue un couple voltaïque ; cet espace se comporte comme le fil métallique dans un couple électro-chimique simple.

Dans le premier cas, le métal est réduit sur les parois de cet espace et les parties adjacentes ; dans le second, il l'est sur le bout du métal qui plonge dans la dissolution métallique et il n'y a aucun effet produit par la fissure. La fissure, dans le tube fêlé, remplace donc le fil métallique, et *vice versâ*, avec cette différence toutefois que l'action est plus intense avec le fil qu'avec la fissure, en raison d'une meilleure conductibilité et d'un courant plus énergique puisqu'il est produit par deux causes ; tandis qu'avec la fêlure une seule cause intervient pour la formation du courant, la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre.

2° La nature des parois capillaires est sans influence sur le phénomène.

3° Le papier à dialyse se comporte comme les autres espaces capillaires, mais l'action est plus tumultueuse, plus rapide ; les produits formés s'altèrent beaucoup plus rapidement, à cause de la grande proximité des dissolutions, des déchirures ou des altérations qui peuvent se produire dans le papier et que l'expérimentateur ne peut prévoir.

4° Les acides franchissent plus facilement les espaces ca-

pillaires que les dissolutions salines et les couleurs végétales.

5° Les principes qui ont été exposés dans le précédent Mémoire et dans celui-ci serviront probablement à expliquer certains phénomènes géologiques de décompositions et de formations de minéraux, dans des roches qui se laissent pénétrer par des eaux tenant en dissolution de l'air ou des substances enlevées aux filons ou aux roches qu'elles traversent.

6° L'étude de la physiologie en général peut en recevoir un utile concours, car tous les êtres organisés présentent les éléments nécessaires pour constituer des couples capillo-électriques donnant lieu à des phénomènes non interrompus de décompositions et de recompositions, qui probablement interviennent dans les phénomènes de la vie.

MÉMOIRE

SUR

L'ÉVOLUTION DE LA NOTOCORDE

DES CAVITÉS DES DISQUES INTERVERTÉBRAUX ET DE LEUR CONTENU GÉLATINEUX

PAR M. CH. ROBIN

Lu à l'Académie des Sciences le 6 mai 1867.

Le but de ce Mémoire est d'exposer dans l'ordre de leur succession évolutive un certain nombre de faits qui se rapportent :

1° A la constitution de la *corde dorsale* (1) *des mammifères, l'homme compris,* depuis l'époque de l'apparition de cet organe jusqu'à celle de sa disparition ;

(1) *Corde dorsale ou spinale*, *chorda dorsalis* (Baer, *Entwickelungsgeschichte der Thiere;* Kœnigsberg, 1828; in-4°, erster Theil, p. 15, et zweiter Theil, p. 208), et *Développement des oiseaux* dans Burdach, *Physiologie,* traduction française, Paris, 1838; in-8°, t. III, p. 208.

Corde de substance molle que les vertèbres entourent comme des anneaux



2° Au mode de naissance, aux caractères et au mode de disparition de la substance gélatineuse des disques intervertébraux et des cavités qui la renferment;

3° Aux caractères, à la nature et aux modifications graduelles des cellules de la corde dorsale qui concourent à la constitution de cette substance gélatineuse.

Chacun de ces ordres de faits formera le sujet des parties en lesquelles se divise ce travail.

---

chez l'esturgeon, le polyodon, la chimère, la lamproie, etc.... (CUVIER, *Anatomie comparée*, 1800.)

Chorde ou *corde dorsale* et *cordon gélatineux de la colonne vertébrale*, de divers auteurs.

Corde vertébrale (VALENTIN, BISCHOFF, etc.).

Notocorde (Richard OWEN, *Principes d'ostéologie comparée*, trad. franç. Paris, 1855; in-8°, p. 181.)

PREMIÈRE PARTIE

DE LA NOTOCORDE DEPUIS SON ENTIER DÉVELOPPEMENT JUSQU'A SA DISPARITION.

CHAPITRE PREMIER

Description générale de la Notocorde.

La notocorde est un organe en forme de filament cylindrique, de structure celluleuse, d'origine embryonnaire ou blastodermique. Il apparaît dans le grand axe de la *tache* ou *aire embryonnaire* dans l'épaisseur du tissu de celle-ci, en même temps à peu près que la *gouttière ou ligne primitive* dont il occupe le fond et toute la longueur. Sur beaucoup de mammifères, mais non sur tous (Rats), il est légèrement renflé en massue (1) à son extrémité céphalique, qui s'étend jusqu'au niveau des vésicules auditives, à la place qu'occupera le cartilage de l'apophyse basilaire de l'occipital, immédiatement en arrière de celle qui sera occupée par le cartilage du corps du sphénoïde. Un peu aminci à son extrémité postérieure ou caudale, cet organe forme un cordon parfaitement cylin-

---

(1) *Bouton de la corde dorsale,* arrondi chez les oiseaux (Baer, *loc. cit.*, et dans Burdach, *Physiologie*, traduction française; Paris, 1838; in-8°, t. III, p. 208 et 209), où il occupe le milieu de la base du crâne.

drique et d'une épaisseur qui reste à peu de chose près de 5 centièmes de millimètre dans toute sa longueur, quand son extrémité céphalique n'est pas un peu renflée, comme sur le mouton (1).

Le corps cartilagineux de l'apophyse basilaire, celui de l'apophyse odontoïde et celui de chaque vertèbre naissent

---

(1) Baer (dans Burdach, *loc. cit.*, 1838, t. III, p. 208, et *Entwickelungsgeschichte;* Kœnigsberg, 1828; in-4°, p. 15) s'exprime ainsi, à propos du développement des oiseaux : « Avec les lames dorsales se forme encore une autre partie que je nomme *corde dorsale ou spinale.* C'est une bandelette qui suit l'axe de la colonne vertébrale future, et, par conséquent, de l'embryon entier. Elle se compose d'abord d'une simple *série de globules foncés en couleur* qui sont plus serrés du côté de l'extrémité antérieure, et plus écartés les uns des autres à l'extrémité postérieure. Elle acquiert ensuite plus d'épaisseur et de solidité parce que le nombre des globules qui la constituent va toujours en augmentant. L'extrémité antérieure prend de bonne heure la forme d'un bouton arrondi, beaucoup plus épais, de sorte que, dès la fin du premier jour, la corde dorsale ressemble à une épingle très-déliée, munie d'une petite tête. Elle conserve aussi cette apparence plus tard, tout en devenant peu à peu plus forte et en se courbant comme l'embryon entier. Cette corde correspond évidemment à la colonne cartilagineuse qui se trouve pendant toute la vie dans le rachis de quelques poissons cartilagineux. Dans le poulet aussi, de même que chez ces derniers, les corps vertébraux s'appliquent autour du cylindre, de sorte que, jusqu'à la moitié du développement, époque à laquelle celui-ci devient peu à peu plus fort, on peut le retirer des corps vertébraux comme un ruban.... Or la corde dorsale est ce que tous les observateurs qui prétendent avoir vu la moelle épinière de très-bonne heure ont pris pour cet organe; car il n'y a aucune trace de moelle épinière comme corps solide avant la soudure des lames dorsales. » La notocorde ne se trouve pas à proprement parler à nu au fond de la gouttière primitive, comme semblent l'indiquer quelques auteurs. Elle apparaît en même temps que débute la formation du *sillon primitif* et elle est séparée du fond de celui-ci : 1° par la rangée la plus externe des cellules du blastoderme; 2° par une double ou triple rangée de

autour de la corde dorsale comme centre, de telle sorte que jusqu'à l'époque de l'ossification du corps des vertèbres, tous ces centres vertébraux sont traversés par ce cordon jusqu'à la dernière vertèbre coccygienne inclusivement, comme un fil traverse les grains d'un chapelet.

Les cartilages du corps de chaque vertèbre sont séparés les uns des autres par des espaces réguliers presque aussitôt occupés par le tissu des disques intervertébraux. Lors de la génération de ce tissu, la notocorde se renfle vers le centre de ces disques, sa gaîne se dilate sous forme de gonflements ovoïdes ou lenticulaires, réguliers ; en sorte que cet organe, qui représente alors l'axe réel de la colonne vertébrale et s'allonge en même temps qu'elle, est d'une manière régulière alternativement renflé et parfaitement cylindrique. Ici son diamètre ne change pas. La notocorde constitue ainsi un filament clair, renflé au niveau des disques intervertébraux, et qui reste mince dans ses portions qui traversent les cartilages du corps des vertèbres, comme il était partout auparavant.

Bientôt l'ossification du centre des vertèbres interrompt

---

cellules et de noyaux libres notablement différents des cellules de la rangée précédente. L'étude de l'évolution ultérieure de cette deuxième rangée montre que c'est de celle de ses portions qui repose sur la notocorde (avec interposition d'une mince couche de substance amorphe) que dérive le système nerveux central. De chaque côté de la notocorde se trouve un amas ou feuillet plus épais que les deux premiers, d'abord encore formé de cellules embryonnaires, mais déjà mélangées de noyaux embryo-plastiques lors de l'apparition de la notocorde (chez les mammifères du moins) et bientôt entièrement composé de ces noyaux avec un peu de matière amorphe interposée.



(pl. III, fig. 7, *j*, *k*) la continuité des portions de la notocorde restées cylindriques et ne laisse plus de cet organe que les cavités intervertébrales, qui continuent à s'agrandir pour disparaître ensuite plus ou moins tôt, suivant les espèces de mammifères, au sacrum, au coccyx et même dans tous les espaces intervertébraux chez quelques-uns.

Sur de très-petits embryons, tels que ceux de vache, etc., longs de 4 à 5 centimètres, à compter de la tête jusqu'à la racine de la queue, on peut constater que l'apparition des points d'ossification offre les particularités suivantes. Le dépôt de granules phosphatiques, plus opaques que le cartilage, se fait dans les interstices des chondroplastes, dont les dimensions sont encore petites. L'époque à laquelle commencent à se former les ostéoplastes est celle où ce dépôt représente un amas central ovoïde en travers, ou arrondi, d'abord grenu, pâle, puis apercevable à l'œil nu, opaque sous le microscope, et qui interrompt la notocorde. Avant cette époque, il forme vers le milieu de la hauteur de la vertèbre une petite tache demi-transparente, mais notablement moins translucide que le reste du cartilage; elle est due à la première formation de la substance fondamentale de l'os à l'état de granules entre les chondroplastes, sans qu'il y ait encore d'ostéoplastes formés; on ne peut, par conséquent, pas nommer encore ces taches des *points d'ossification*. Chaque tache est plus claire dans l'axe de la vertèbre, au niveau de la notocorde, que sur ses côtés, et paraît ainsi double ou bilobée, surtout si l'on comprime la préparation.

Jusqu'à cette époque la corde dorsale se compose:

1° De la *notocorde proprement dite,* filament plein, gri-

sâtre, composé de cellules nucléées, polyédriques, finement granuleuses, très-adhérentes les unes aux autres par juxtaposition immédiate. (Pl. VII, fig. 15.)

2° Ce cordon est lui-même entouré d'une gaîne mince, transparente, résistante (*gaîne ou tunique de la notocorde*), séparée du filament celluleux par un petit intervalle plein d'une substance demi-liquide, hyaline, assez tenace, dans laquelle est plongée et flotte en quelque sorte le cordon celluleux ou notocorde proprement dite. (Pl. I, fig. 3, *a, h.*) Avant l'apparition de ses renflements intervertébraux, on peut retirer intactes la notocorde et sa gaîne des organes qu'elles traversent et constater que ces derniers ne naissent pas par transformation de la substance de cette tunique en leurs tissus alternativement cartilagineux et fibreux. Remplissant le rôle de soutien squelettique du nouvel être durant la phase blastodermique de son évolution, on voit d'autres organes se substituer à elle, et, loin de se transformer en quelque autre partie, la corde dorsale continue à augmenter de masse, mais en changeant de disposition morphologique; ce fait entraîne des différences dans les usages relatifs aux mouvements du nouveau squelette, usages que ses portions intervertébrales remplissent jusqu'à l'époque de son atrophie sénile, avec substitution d'un autre tissu. Alors ce petit appareil offre un exemple frappant des cas de remplacement d'un organe transitoire par un autre, sans que jamais le tissu du second soit une transformation du premier, sans qu'il y ait de lien généalogique direct des éléments de celui-ci avec ceux de celui-là.

Il est facile de distinguer les cellules qui composent la corde dorsale de celles qui forment le tissu de la tache em-

bryonnaire par le volume trois ou quatre fois plus considérable des premières; leur diamètre est de $0^{mm},025$ à $0^{mm},040$ environ. Elles sont polyédriques, grisâtres, assez transparentes, finement granuleuses, à granulations fines et grises; toutes renferment un noyau sphérique, quelquefois un peu ovoïde, très-transparent avec un nucléole brillant et peu volumineux. (Pl. VII, fig. 15, et pl. XI.)

Dès qu'on vient à mettre ces cellules au contact de l'eau, elles se gonflent et prennent rapidement un volume presque double de celui qu'elles avaient auparavant; en même temps elles deviennent sphériques. (Pl. XI, fig. 53 et 57.) Cette remarque est très-importante, parce que, dans presque toutes les descriptions de ces cellules, on les décrit telles qu'elles sont après le contact de l'eau; d'où il résulte qu'on les dit être de grands globules sphériques, transparents, offrant un noyau très-clair et dépourvu de granulations, tandis qu'elles sont en réalité grisâtres, finement granuleuses et polyédriques. Ce n'est qu'au contact de l'eau qu'elles deviennent sphériques et que leurs granulations se dissolvent, ce qui les rend tout à fait hyalines. (Pl. XI, fig. 57.)

Dès l'extrémité antérieure de l'apophyse basilaire, la corde dorsale s'étend jusqu'à la dernière vertèbre coccygienne ou caudale, en traversant le sacrum, de telle sorte qu'elle est très-longue chez les rats, les carnassiers, les ruminants, etc., qui présentent un grand nombre de vertèbres coccygiennes.

Lorsque les points d'ossification apparaissent au centre des vertèbres et dans l'apophyse basilaire, elle s'atrophie à ce niveau et disparaît, de telle sorte qu'elle se trouve interrompue autant de fois qu'il y a de corps vertébraux s'os-

sifiant. Il importe de savoir qu'il n'y a qu'un seul noyau d'ossification au centre de chaque corps vertébral ou de l'apophyse basilaire de l'occipital et que ce noyau unique apparaît un peu en arrière de la notocorde qu'il entoure bientôt et dont il envahit la place en déterminant l'atrophie de sa gaîne et de ses cellules.

Une disposition digne d'être notée est que ce filament traverse de part en part l'apophyse odontoïde de l'axis et passe en arrière de l'arc antérieur de l'atlas, de sorte que l'atlas n'est traversé dans aucune de ses parties par la corde dorsale. (Pl. III, fig. 7, *b, c.*) Ce fait se rattache à cette particularité importante en anatomie descriptive, que l'apophyse odontoïde naît toujours par un corps cartilagineux distinct qui représente en réalité le corps de l'atlas, et qui, au lieu de s'unir à l'arc antérieur de cette vertèbre, se soude, quoique assez tard, au corps de l'axis; cette soudure est relativement tardive, parce qu'il reste un renflement de la corde dorsale entre l'apophyse odontoïde et le corps de l'axis. Lors de l'ossification des vertèbres, la notocorde ne forme donc plus un filament continu; elle ne se trouve plus représentée que par les dilatations intervertébrales dont une existe entre le corps de l'axis et l'apophyse odontoïde représentant le corps de l'atlas. (Pl. III, fig. 6, *d.*)

Ainsi la portion de ce cordon qui traverse l'apophyse basilaire s'atrophie graduellement; il en est de même de la portion qui traverse l'apophyse odontoïde et de celle qui traverse le corps de l'axis sur lequel l'apophyse odontoïde représente une partie atloïdienne surajoutée. (Pl. I, fig. 3, *e, f, g.*) Lors de l'ossification des corps vertébraux on ne rencontre plus le tissu de la notocorde qu'à partir du disque

qui sépare la seconde de la troisième vertèbre cervicale, et dans tous ses homologues jusqu'à l'extrémité du coccyx. Mais bientôt on voit la portion du cordon qui traverse le sacrum subir une atrophie telle, que la dilatation qui est interposée à chaque vertèbre disparaît complétement. Chez l'homme, c'est vers l'âge de neuf à douze ans qu'ont lieu ces derniers phénomènes. Il en est bientôt de même pour la partie qui occupe l'intervalle des vertèbres coccygiennes. De telle manière qu'au bout d'un certain temps, ce cordon celluleux est subdivisé par la production des noyaux d'ossification en autant de parties distinctes ou d'organes similaires qu'il y a de disques intervertébraux (1); après avoir ainsi occupé toute l'étendue de la colonne vertébrale depuis l'apophyse basilaire jusqu'à l'extrémité du coccyx, on le voit s'atrophier dans l'apophyse basilaire (pl. III, fig. 7, *b*), dans les deux premières vertèbres cervicales, dans les disques intervertébraux du sacrum et du coccyx, pour ne plus occuper que la colonne vertébrale proprement dite. Là même on ne retrouve son tissu qu'au centre des disques intervertébraux, où il est accompagné d'une certaine quantité de la

(1) La matière contenue dans les cavités des disques intervertébraux n'est donc pas comparable à la synovie. Elle représente les restes de la corde dorsale devenus un centre de mouvement, sphéroïdal, incompressible en raison de sa liquidité, et, par suite aussi, susceptible de très-légers déplacements qui suffisent à l'accomplissement des usages de la colonne vertébrale en tant que tige flexible et de sustentation à la fois. La portion fluide du corps gélatineux filant que renferment ces cavités, est le résidu du liquide de même nature que nous avons vu exister entre l'enveloppe et le cordon celluleux de la corde dorsale.

matière demi-liquide gélatiforme dont nous avons parlé. Plus tard dans les disques intervertébraux cervicaux, dorsaux et lombaires, aussi bien que dans le sacrum, ce tissu s'atrophie graduellement. Chez les adultes, il commence à disparaître dans ces régions vers l'âge de soixante ans environ. A partir de ce moment, la cavité des disques intervertébraux, au lieu de renfermer une substance molle, élastique, est graduellement envahie par du tissu fibreux, de telle manière que sur les sujets très-âgés on n'observe plus trace du tissu de la corde dorsale, formé par les cellules juxtaposées, ni du liquide visqueux qui les accompagne. Cette atrophie, dans les disques intervertébraux, suit toutes les phases qu'on observe durant l'atrophie du tissu de la portion de la notocorde qui occupe l'intervalle des vertèbres sacrées. Ces phénomènes sont les mêmes aussi bien vers la neuvième ou la douzième année, époque où ils ont lieu dans le sacrum, que vers l'âge de soixante ans environ, où ce remplacement commence à survenir dans les autres disques intervertébraux. Quoi qu'il en soit, ce tissu a une existence temporaire, chez les mammifères; mais celle-ci se prolonge cependant jusqu'à une période avancée de l'existence pour un certain nombre de disques intervertébraux, et en particulier pour ceux de la région lombaire où l'atrophie se fait en dernier lieu.

Il y a des animaux sur lesquels cette substitution graduelle du tissu fibreux à celui de la notocorde s'accomplit beaucoup plus tôt que chez l'homme. Ainsi, sur les ruminants et sur les solipèdes, qui ont une colonne vertébrale très-rigide, l'atrophie s'achève avant la naissance; chez quelques espèces elle a lieu quelque temps après la naissance, tandis que dans les carnassiers, qui ont une colonne vertébrale très-flexible,

comme le chien et le chat, on retrouve ce tissu gélatineux de la notocorde dans les cavités des disques intervertébraux pendant toute la durée de la vie (1).

Ajoutons en terminant que, pendant que se produisent les cavités intervertébrales par dilatation de la notocorde, on voit là, dès le troisième mois de la vie intra-utérine de l'homme, par exemple, et même plus tôt, ces cellules présenter des modifications importantes. D'abord la corde dorsale proprement dite cesse de former en ce point un renflement ou amas celluleux homogène ; ce renflement se subdivise en fragments ou petits groupes larges de $0^{mm},1$ ou environ, apercevables déjà à l'œil nu, comme de petits points grisâtres, de configurations très-variées et souvent d'aspects bizarres sous le microscope. (Pl. XI, fig. 49 à 56.)

Ces amas offrent cette particularité, que les cellules dont ils sont formés se creusent petit à petit de cavités que remplissent des gouttelettes d'un liquide rosé ou jaunâtre (fig. 58, *l*, *m*). Ces cellules deviennent alors tantôt ovoïdes, tantôt arrondies, et jusqu'à deux ou trois fois plus grosses que dans les premiers mois de leur existence. Leur contour est quelquefois difficile à distinguer au premier abord ; mais il devient très-appa-

---

(1) On n'a pas encore noté d'altération particulière du tissu de la corde dorsale. Cependant, chez les enfants, on peut, accidentellement, trouver ce tissu incrusté de grains phosphatiques irréguliers ; de telle manière que quelquefois, sur les jeunes sujets, on voit alors le tissu mou qui occupe les disques intervertébraux remplacé par une substance jaunâtre qui doit sa coloration à une incrustation des cellules de la notocorde par des grains de phosphate de chaux, grains qui existent aussi entre ces cellules dans le liquide précédemment visqueux et gélatiniforme.

rent, dès qu'on ajoute de l'eau à la préparation. L'aspect de ces cellules est complétement changé par la présence de ces gouttelettes rosées ou jaunâtres, et des auteurs partisans de la génération endogène ont décrit ces gouttelettes comme des cellules incluses, tandis qu'elles représentent un fluide assez épais qui s'est produit dans l'épaisseur de la substance des cellules en vertu de modifications évolutives et relativement séniles. Ces gouttelettes sont complétement dissoutes par l'eau après une demi-heure de contact ou environ, et les cellules reprennent alors les caractères qu'elles offrent pendant l'âge embryonnaire lorsqu'on les a traitées par l'eau. Ce fait prouve que ce sont là des gouttes d'un liquide particulier, qui se forme dans la substance des cellules de la notocorde, substance qu'elles distendent et repoussent sans se mêler avec elle, et que ce ne sont pas des cellules incluses dans d'autres cellules. Enfin des gouttes semblables existent aussi dans la matière hyaline visqueuse qui est interposée aux amas de cellules ; elles semblent avoir exsudé de l'épaisseur des cellules dans lesquelles elles sont produites.

CHAPITRE II.

Observations sur la notocorde de quelques espèces de mammifères en particulier.

A. — HOMME.

Sur un embryon humain long de 5 à 6 millimètres, qui m'a été remis le 15 juin 1859 par M. le docteur Manceau, j'ai pu étudier la notocorde dans son entier. Le cœur de l'embryon faisait librement saillie en dehors ; le cordon ombilical avait 3 millimètres de long à peine et la cavité abdominale communiquait largement avec lui ; la vésicule ombilicale était écrasée. La bouche et la cavité nasale formaient une cavité unique de forme losangique. Au niveau de l'angle supérieur de celle-ci, de chaque côté, se voyaient deux petits points nettement arrondis, légèrement noirâtres, qui représentaient les yeux. Un certain degré de pression des lames de verre a rendu assez transparent le tissu du corps de l'embryon pour apercevoir la notocorde (pl. I, fig. 1) dans toute sa longueur. Son extrémité antérieure se voyait sur la ligne médiane au niveau des deux yeux qu'elle dépassait un peu. Son extrémité postérieure s'étendait dans le prolongement caudal jusqu'à 1 demi-millimètre de son bord terminal même. On pouvait, d'après cela, calculer approximativement qu'elle mesurait une longueur totale de 4 millimètres $\frac{1}{2}$ ou un peu plus.

Son extrémité antérieure était légèrement renflée en massue (pl. I, fig. 1, *a*) et large de 9 centièmes de millimètre; dans le reste de son étendue, sa largeur était de 6 centièmes de millimètre, en mesurant l'écartement des bords de sa gaîne propre. Son extrémité postérieure se terminait assez brusquement en pointe mousse (*b*).

A un grossissement de 60 diamètres, elle représentait un mince filament cylindrique, à bords très-nets, grisâtre et comme finement grenu. Sur la moitié postérieure du corps de l'embryon, séparée de l'autre portion, elle put être isolée des tissus ambiants par des mouvements de pression et de relâchement alternatifs des lames de verre, qui la rendaient flexueuse et rectiligne alternativement, sans la briser ni en changer l'aspect.

La notocorde était entourée de cellules embryonnaires, sphériques, finement granuleuses, transparentes, mélangées de noyaux embryo-plastiques; à ces éléments se trouvait interposée une certaine quantité de matière amorphe finement granuleuse. On y trouvait aussi une petite quantité de granulations graisseuses assez grosses, qui étaient plus abondantes dans le tissu des autres parties du corps de l'embryon, lequel était composé surtout de noyaux embryo-plastiques et d'une petite quantité de matière amorphe.

Sur des coupes de la partie antérieure de l'embryon durcie dans l'acide chromique, il m'a été possible de distinguer déjà la substance de la partie antérieure de l'axe cérébro-spinal, limitant une cavité, ou mieux un sillon ventriculaire médian, et reposant directement sur la gaîne de la notocorde, sans interposition encore de cartilage ni d'autre tissu. Cette substance cérébrale était formée de matière amorphe

dans laquelle étaient des cellules nerveuses, bien distinctes des cellules embryonnaires ci-dessus par leur forme allongée, presque prismatique, avec un noyau central sphérique, clair, assez volumineux. Des angles ou des côtés de plusieurs des cellules nerveuses se détachaient de très-fins cylindraxes; entre elles existaient des myoélocytes en assez grand nombre, surtout dans le voisinage de la cavité ou gouttière centrale.

La constitution de la notocorde était ici la même que sur l'embryon dont je vais actuellement parler.

Sur un embryon humain long de 8 millimètres $\frac{1}{2}$, qui m'avait été remis par M. Moreau en 1854, j'ai pu étudier dans son ensemble la *chorde dorsale* ou notocorde entièrement formée.

Redressée et étendue, elle représentait un petit cordon transparent, à peu près cylindrique, long de 6 millimètres, et s'avançait dans le prolongement caudal du corps, plus près de son extrémité que de celle de la partie antérieure du renflement céphalique de l'embryon. Dans la plus grande partie de son étendue, elle avait une largeur de 7 centièmes de millimètre. Elle était un peu renflée en massue à son extrémité céphalique (comme l'indique la fig. 4, *a*, *b*), et cette dernière s'avançait à peu près jusqu'au niveau des yeux. Son extrémité coccygienne se terminait assez brusquement en pointe mousse sans s'amincir notablement. Ici le corps des vertèbres thoraciques et lombaires se distinguait déjà; de chaque côté de la chorde dorsale il était plus opaque qu'au niveau de celle-ci et il l'entourait d'une mince couche de sa substance cartilagineuse, passant en avant et en arrière; à ce niveau, cette substance se brisait aisément sous l'in-

fluence d'une pression modérée, avec écartement des deux moitiés latérales du corps des vertèbres.

Chez ces deux embryons, la notocorde était constituée par une enveloppe mince, mais tenace, transparente, tout à fait homogène, sans granulations. La cavité de celle-ci était à peu près remplie par le cordon grisâtre, large de 5 centièmes de millimètre, que composent les cellules propres de la notocorde. Ce cordon était renflé vers la tête comme la gaîne elle-même et atteignait là une largeur de 7 à 8 centièmes de millimètre. La surface du cordon et les lignes qui indiquent les limites de sa surface lorsqu'il est vu par transparence étaient comme à l'ordinaire lisses, régulières, parce que les cellules qui le composent ne font point saillie extérieurement. Il ne remplissait pas tout à fait sa gaîne, et l'intervalle compris entre la face interne de cette dernière et la surface du cordon celluleux était plein d'un liquide tout à fait hyalin, mais assez visqueux. Quant aux cellules, elles étaient comme toujours polyédriques, adhérentes les unes aux autres, de manière que les lignes de leur juxtaposition étaient d'abord difficiles à distinguer. Elles étaient finement granuleuses, grisâtres, ainsi que leur noyau sur l'embryon le plus long, dont l'expulsion avait duré deux jours; bien qu'il ne fût nullement déformé, tous les tissus étaient parsemés de granulations graisseuses assez grosses. Les cellules de la notocorde en étaient parsemées presque uniformément et en quantité suffisante pour masquer par place leur noyau et leurs lignes de juxtaposition presque partout. Quelques cellules présentaient de petites vacuoles à contenu hyalin, mais en petit nombre. Ce n'est qu'après le contact de l'eau que les cellules prirent la forme sphé-

rique et la transparence hyaline qui leur est attribuée comme normale.

B. — LAPIN, COCHON D'INDE ET RAT (*Mus ducumanus.* Pallas).

Sur plusieurs embryons de cochon d'Inde, longs de 10 millimètres, la notocorde était semblable à celle de l'embryon humain. Son extrémité renflée s'étendait jusqu'au niveau de l'œil, représenté par une petite masse sphérique incolore (pl. VI, fig. 13, *j*), elle empiétait au-dessus de lui sans le dépasser (*l*). Ces embryons n'offraient encore que trois arcs viscéraux (*i*); la vésicule auditive, très-petite (*k*), était située au niveau du sillon de séparation des deuxième et troisième arcs; la notocorde passait immédiatement au-dessous du niveau de cette vésicule et prenait à partir de là le diamètre qu'elle conservait jusqu'à son extrémité (*n*). Chez ces animaux, sa largeur est de 45 millièmes de millimètre seulement, et le cordon celluleux a 3 centièmes de millimètre. Il est constitué par des cellules disposées comme dans le premier embryon humain dont il a été question plus haut.

La partie renflée de la notocorde acquiert 9 centièmes de millimètre dans sa partie la plus large. Elle traversait de part en part les corps des vertèbres sous forme d'un mince cordon ou filament clair, terminé par une extrémité arrondie à peine rétrécie à l'extrémité de la dernière pièce rachidienne. On ne pouvait distinguer dans les tissus de l'extrémité céphalique embryonnaire si la partie antérieure de la notocorde traversait l'occipital ou non, et si ce dernier

organe était déjà formé. Elle n'offrait aucun renflement ; du reste, les cartilages des corps vertébraux étaient presque contigus, séparés seulement par un mince espace clair, occupé par un tissu composé de matière amorphe et de noyaux embryo-plastiques plus étroits, plus allongés que les noyaux qui se trouvent dans les chondroplastes du corps des vertèbres. Le tissu cartilagineux de ces corps vertébraux est composé à cette époque de noyaux embryo-plastiques, larges, clairs, assez rapprochés les uns des autres, tenus agglutinés par une substance homogène, transparente, semblable à celle du cartilage; il est, en un mot, formé par du tissu cartilagineux naissant. Ces corps vertébraux cartilagineux sont, à cette époque, profondément échancrés à leur partie dorsale; ils étaient distincts les uns des autres au nombre de trente et un chez cet embryon. Aucune vertèbre n'avait encore d'apophyse transverse apparente.

J'ai constaté à diverses reprises que la notocorde offrait une disposition semblable chez les embryons de lapins longs de 12 à 14 millimètres après leur redressement. Elle n'offre alors aucun renflement intervertébral. Elle s'isole facilement par écrasement méthodique des corps vertébraux dont le tissu cartilagineux, encore mou, est formé de noyaux embryo-plastiques réunis par une substance hyaline, transparente et de peu de consistance.

On voit alors facilement que son épaisseur, mesurée à la surface extérieure de sa gaîne, est de 45 à 50 millièmes de millimètre, comme chez les cochons d'Inde ; toutefois, elle descend à 40 millièmes vers les vertèbres caudales, encore mal délimitée, et atteint le double de ce diamètre à peu près vers son extrémité antérieure ou basilaire.

Elle est traversée dans toute son étendue par un cordon cylindrique grisâtre, finement granuleux, épais de 3 centièmes de millimètre. Celui-ci montre des noyaux ovoïdes, courts ou sphériques, larges de 6 à 7 millièmes de millimètre, finement grenus et sans nucléoles. Ils sont rapprochés sans être contigus et semblent être tenus à la fois écartés les uns des autres et réunis par une substance finement granuleuse, sans qu'on puisse apercevoir entre eux des lignes indiquant la juxtaposition réciproque des cellules. Toutefois, lorsqu'on brise l'enveloppe, ces dernières se gonflent au contact de l'eau, deviennent distinctes, et on peut reconnaître que le cordon cylindrique grisâtre placé au centre de la cavité de la gaîne dans toute son étendue, est formé par ces cellules, tellement cohérentes, que les lignes indiquant les plans de leur juxtaposition ne sont pas visibles. Entre la surface du cordon celluleux et la face interne de la gaîne existe un espace clair, large de 1 centième de millimètre, plein d'un liquide limpide, sans traces de granulations.

Lorsque les embryons commencent à subir une altération cadavérique, ou lorsque la notocorde se trouve au contact de l'eau depuis quelques instants, les cellules du cordon central, celles de la surface, particulièrement, se gonflent sous forme de saillies vésiculiformes, hyalines, qui remplissent l'espace plein de liquide limpide placé entre ce cordon et l'enveloppe. La face interne de cette dernière devient alors plus nettement distincte qu'auparavant. L'épaisseur de cette gaîne peut ainsi être mesurée facilement, bien que çà et là quelques noyaux embryo-plastiques des espaces intervertébraux et un peu de substance des cartilages soient entraînés

par sa surface externe à laquelle ils adhèrent faiblement. Cette épaisseur est de 3 millièmes de millimètre.

Sur des rats surmulots (*Mus decumanus,* Pallas) longs de 18 millimètres, du ventre au bout de la queue (celle-ci ayant à elle seule une longueur de 8 millimètres), et sur d'autres, longs de 14 à 15 millimètres, j'ai facilement observé les dispositions suivantes sur la notocorde : elle se présentait sous forme d'un mince filament hyalin très-régulièrement cylindrique, d'égal volume dans toute sa longueur, étendu depuis le niveau du quart postérieur du globe oculaire jusqu'au bout de la queue (pl. I, fig. 2, *d, f*). Elle n'était pas renflée à son extrémité antérieure, qui était arrondie, large seulement de $0^{mm},025$, comme le reste de la longueur de l'organe, et elle se terminait brusquement par une extrémité mousse, large de $0^{mm},024$. Sa gaîne, complétement hyaline, sans stries ni granulations, était épaisse de $0^{mm},003$ et néanmoins très-résistante. Le cordon celluleux, légèrement grisâtre, remplissait complétement la cavité de la gaîne, sans qu'il y eût encore de liquide interposé entre lui et la face interne de celle-ci. Les cellules polyédriques, par pression réciproque, étaient petites et pourvues d'un noyau clair, sans nucléole, assez gros par rapport au corps même des cellules. Les cartilages de chaque corps vertébral et de l'apophyse basilaire étaient déjà distincts les uns des autres, séparés par des bandes étroites d'un tissu un peu moins transparent qu'eux-mêmes, au niveau de chacune desquelles passait un capillaire plein de sang, à hématies volumineuses pourvues d'un noyau. La notocorde ne présentait pas encore de dilatation au niveau de ces bandes intervertébrales visibles entre les pièces de la queue comme entre celles

du dos; mais un petit amas de fines granulations foncées l'entourait là au centre de toutes les bandes intervertébrales du tronc.

Ces bandes étaient formées de corps fibro-plastiques fusiformes encore très-courts, à noyau un peu grenu.

Les pièces cartilagineuses, plus transparentes, étaient composées de noyaux clairs à contour net, presque contigus, ovoïdes, hyalins, sans granulations, contenant presque tous un petit nucléole brillant. Un fort grossissement montrait une très-petite quantité de substance hyaline, non segmentée en cellules, interposée entre ces noyaux.

La notocorde s'avançait jusqu'au bord postérieur même de la dernière pièce cartilagineuse coccygienne sans la dépasser.

La gaîne de la notocorde n'était pas extensible, de sorte que, lorsqu'on venait à comprimer l'embryon entre deux lames de verre sous le microscope, on voyait les pièces cartilagineuses de ces corps vertébraux glisser sur la corde dorsale; celle-ci abandonnait l'apophyse basilaire d'une part et laissait échapper les derniers corps vertébraux coccygiens qui devenaient libres. Ceux-ci étaient déjà au nombre de trente comme chez l'adulte.

C. — RUMINANTS.

Sur deux embryons humains d'une longueur de 14 et de 16 millimètres, du ventre à l'extrémité postérieure du tronc, sur un autre, long de 18 millimètres, que m'avait remis E. Godard, et sur un embryon de mouton long de 20 millimètres, du front à la racine de la queue, la notocorde s'étendait sous

forme d'un cordon ou filament clair, depuis la base du crâne jusqu'à la dernière pièce coccygienne. Son extrémité antérieure se voyait sur la ligne médiane, à peu près au niveau des yeux, mais un peu en arrière. La portion céphalique de la notocorde traverse ainsi le centre des cartilages, qui correspond à l'apophyse basilaire de l'occipital ; elle traverse celle-ci tout entière, et son extrémité antérieure atteint le bord postérieur du cartilage du corps du sphénoïde sans pénétrer dans son épaisseur. Cette extrémité se voit à l'extrémité antérieure de l'apophyse basilaire de l'occipital, au niveau de la partie antérieure de la vésicule ou sac du labyrinthe. Cette extrémité antérieure est arrondie, renflée en forme de massue dans une longueur de 1/3 de millimètre et large de 1 dixième de millimètre chez l'embryon humain, et un peu moins sur le plus petit que sur celui de 16 millimètres. Elle est large de 9 centièmes de millimètre seulement chez le mouton (pl. I, fig. 3, *a*). Au-dessous de cette partie renflée, elle diminue peu à peu de volume, et acquiert un diamètre de 7 centièmes de millimètre vers le bord postérieur de l'occipital, largeur qu'elle conserve dans toute son étendue chez ces embryons, en restant ainsi régulièrement cylindrique jusqu'à la dernière pièce coccygienne où elle se termine assez brusquement en pointe mousse.

La notocorde ne traverse pas le cartilage de l'atlas, qui sur l'embryon dont il s'agit (fig. 3) était déjà assez développé sous forme d'une bande cartilagineuse, étroite, courbée en demi-cercle. A partir de l'apophyse odontoïde et du corps de l'axis, qu'elle traversait de part en part, elle passait au centre de tous les disques intervertébraux et du cartilage de tous les corps de vertèbres, qui étaient plus

transparents que ces dernières. Elle ne présentait aucun renflement sur toute sa longueur.

Sur l'embryon de mouton, le bord postérieur du cartilage de l'occipital offrait deux portions plus foncées que le reste de sa substance, qui se présentaient sous forme de taches arrondies à contour diffus (fig. 1, *b*) de chaque côté de la corde dorsale. Plus tard, on trouve à leur place le golfe de la veine jugulaire. Une tache foncée analogue se voyait aussi au bord inférieur du cartilage du corps de toutes les vertèbres (*e*) jusqu'au sacrum; elle s'étendait sur le disque intervertébral à peu près jusqu'à la place occupée plus tard par la cavité de ce disque; elle aurait pu faire croire d'abord à la présence d'une dilatation commençante de la notocorde, mais un examen attentif montrait que cet organe restait parfaitement cylindrique à ce niveau.

Dans toute sa longueur, la corde dorsale offre aussi sur cet animal une enveloppe hyaline, transparente sans granulations, épaisse de 2 millièmes de millimètre, légèrement plissée dans le sens longitudinal. Cette gaîne renferme le cordon celluleux qui représente la notocorde proprement dite. Celui-ci est cylindrique et n'a que 5 centièmes de millimètre de large; il ne remplit pas sa gaîne, il est flottant dans son intérieur, flexueux, intestiniforme (fig. 3, *h*), un peu replié sur lui-même d'espace en espace, comme s'il était trop long pour la gaîne. Il est un peu renflé comme cette dernière à son extrémité antérieure. Il reste entre lui et la gaîne un intervalle libre, large de 1 centième de millimètre, plein d'un liquide assez tenace, visqueux, incolore. Le cordon celluleux est formé de cellules polyédriques juxtaposées d'une manière immédiate, très-adhérentes ensemble et ne

faisant point saillie individuellement à la surface de l'organe, qui est au contraire lisse et régulière. Nous verrons plus loin que ces cellules paraissent plus granuleuses et plus grisâtres lorsque la préparation se dessèche un peu et qu'elles se gonflent, deviennent transparentes et paraissent moins granuleuses après quelques instants de séjour au contact de l'eau.

Sur les embryons humains mentionnés plus haut, l'espace plein de liquide visqueux existant entre la paroi de la notocorde et le cordon flexueux formé de cellules était plus étroit que chez le mouton. Ce cordon avait le même aspect général que sur ce dernier, mais les cellules très-pressées réciproquement et très-cohérentes, étaient difficiles à distinguer les unes des autres; les lignes marquant les plans de leur juxtaposition ne se voyaient qu'après l'action de l'eau.

Il était facile de reconnaître chez ces divers embryons que les cartilages vertébraux naissent autour de la paroi mince et nettement délimitée de la notocorde, et qu'ils ne sont pas un épaississement de cette enveloppe, car on la retirait intacte sur une certaine longueur hors des cartilages qu'elle traverse. On peut le faire ainsi tant que les renflements intervertébraux de la notocorde ne se sont pas encore montrés.

Lorsqu'on examine alors les corps vertébraux par une de leurs faces articulaires, on constate l'existence d'un canal qui les traverse de part en part et qui logeait la notocorde et sa gaîne. Il est toujours placé un peu en avant du milieu de chaque corps vertébral, c'est-à-dire plus près du bord antérieur que du bord postérieur (pl. VII, fig. 16, *a*). Ce canal

est parfaitement cylindrique, à face interne très-nette; il est large en général de 5 centièmes de millimètre. La substance cartilagineuse qui le limite est complétement hyaline et dépourvue de chondroplastes dans une épaisseur de 15 millièmes de millimètre (fig. 16 et 17, *b*). A aucune époque on ne voit de traces d'une soudure de deux moitiés des corps vertébraux sur le plan antéro-postérieur de chacun de ceux-ci; toujours le tissu cartilagineux offre dans cette direction une structure identique à celle qu'il a partout ailleurs.

Chez un embryon de rat (*Mus decumanus*, Pallas), long de 12 millimètres, des vertèbres à la racine de la queue, la notocorde était sans renflement, semblable en tous points à celle décrite plus haut d'après le mouton. Son extrémité antérieure était seulement un peu moins renflée et dépassait un peu l'extrémité antérieure de l'apophyse basilaire pour empiéter sur le corps du sphénoïde. Le reste de l'organe avait 54 millièmes de millimètre d'épaisseur et le cordon celluleux 43 millièmes. Les cellules étaient très-adhérentes les unes aux autres, à granulations plus fines et plus pâles que sur le mouton et plus uniformément distribuées. Leur noyau était un peu moins visible que chez celui-ci. La notocorde s'étendait jusqu'au dernier cartilage coccygien, bien que la queue eût 4 millièmes $\frac{1}{2}$ de long. La première était facile à isoler dans toute son étendue, et alors on la faisait flotter librement; sa paroi hyaline était très-résistante.

Sur deux cochons d'Inde longs de 23 millimètres (pl. II, fig. 5), la disposition générale et la constitution de la notocorde était la même que celle qui vient d'être décrite.

Le seul point d'ossification du squelette qu'on observât était celui de la portion écailleuse du temporal. La portion renflée de la notocorde traversait toute la partie basilaire étroite allongée de l'occipital et les deux tiers du corps du sphénoïde dans lequel elle se terminait (*a*). Cette extrémité se trouvait ainsi reportée un peu au-devant des vésicules auditives (*i*), mais bien en arrière de l'œil, au niveau duquel elle se trouve placée lors de l'apparition de l'appareil visuel. Par suite de la naissance et du développement des os du crâne, cette extrémité se trouve ainsi peu à peu ramenée en arrière par rapport à l'œil et à l'oreille, ou mieux ces deux appareils se trouvent reportés en avant par rapport à l'extrémité céphalique de la notocorde. Celle-ci offrait le même volume que chez les embryons beaucoup plus petits décrits précédemment. A partir du premier disque intervertébral dorsal jusqu'au premier disque sacré, la notocorde offrait dans chacun de ceux-ci (pl. II, fig. 5, *g*) un léger renflement ovoïde en long, acquérant dans les disques lombaires à peu près le double de la largeur de la notocorde elle-même. On remarquait aussi que la largeur du corps des vertèbres dorsales était un peu moindre que celle de la même partie des colonnes lombaire et cervicale. Au-dessous du dernier renflement à peine perceptible qu'on voyait au milieu du premier disque sacré, la notocorde se continuait sans changement de volume jusqu'à l'extrémité de la dernière pièce coccygienne.

CHAPITRE III.

Sur la production des renflements intervertébraux de la notocorde.

On peut constater directement sur les embryons de l'âge de ceux dont il vient d'être parlé, et indirectement sur les embryons plus âgés, d'après la grosseur de ces renflements, que ceux-ci commencent à se produire d'abord dans les disques des dernières vertèbres dorsales et des premières lombaires; à partir de là, il s'en forme ensuite successivement et régulièrement dans les autres disques, tant du côté du cou que de celui du sacrum.

A. — CHEZ LE LAPIN.

Sur un embryon de lapin long de 25 millimètres, j'ai constaté les dispositions suivantes, offertes par la corde dorsale. Dans cette espèce, elle constitue un long cordon clair, lorsqu'elle est vue par lumière transmise sous le microscope; ce cordon s'étend depuis le bout de l'apophyse basilaire de l'occipital, au niveau du bord antérieur de la vésicule du labyrinthe ou auditive, jusqu'à l'extrémité du prolongement coccygien ou caudal. (Voy. pl. III, fig. 6, et pl. IV, fig. 8 et 9.) Ce cordon ou filament tranche nettement

par sa transparence et par quelque chose de brillant dans son aspect, sur la couleur grisâtre et l'apparence grenue du cartilage du corps des vertèbres; il tranche également sur la teinte foncée, opaque, et conséquemment noirâtre sous le microscope, du tissu fibreux en voie d'évolution des disques intervertébraux (fig. 8). Sa configuration générale est rendue curieuse et frappante, par la présence de renflements réguliers, arrondis ou un peu ovoïdes, placés symétriquement dans les disques intervertébraux, et reliés ensemble par les portions cylindriques, étroites, qui traversent le cartilage du corps des vertèbres, en conservant du haut en bas la même largeur. Celle-ci est de 5 centièmes de millimètre, à 2 ou 3 millièmes près, parce que près de son extrémité terminale elle s'amincit un peu (pl. IV, fig. 9, *c*).

Ces renflements, et les portions restées cylindriques et étroites, alternent ainsi avec une régularité remarquable, qui donne à l'ensemble de la notocorde une grande élégance. La distance qui sépare les uns des autres les élargissements est mesurée par l'épaisseur du corps des vertèbres et indique la longueur des parties étroites et cylindriques de la corde dorsale; elle varie par conséquent, mais peu et d'une manière régulière, d'une portion de la colonne vertébrale à l'autre. Cette longueur va en diminuant à partir des premières vertèbres sacrées jusqu'au bout du coccyx, parce que l'épaisseur des vertèbres s'amoindrit.

Étudiés successivement de haut en bas, ces renflements de la notocorde offrent des différences de forme qui passent de l'une à l'autre avec une régularité frappante. La portion céphalique de la notocorde, à cette période de son développement, est encore renflée comme aux phases antérieures et

dans l'épaisseur du cartilage de l'apophyse basilaire; entre l'occipital et l'atlas, au bout de l'apophyse odontoïde (fig. 2, *b*), elle offre un très-petit renflement qui n'a pas tout à fait 1 dixième de millimètre de large. Au-dessous de ce renflement, elle est mince, elle a seulement 3 centièmes de millimètre d'abord, puis atteint peu à peu une largeur de 4 centièmes. Elle traverse longitudinalement l'apophyse odontoïde dans toute sa longueur (*b, d*) et la portion inférieure du corps de l'axis (*c, d*). Vers le milieu de celui-ci, elle offre un renflement fusiforme (*d*) large de 1 dixième de millimètre, long de 1 tiers à 1 demi-millimètre, selon l'âge des animaux. L'axis est la seule vertèbre au centre de laquelle la notocorde offre un renflement; ce fait coïncide avec cette particularité que le corps de cette vertèbre, plus épais que celui de toutes les autres, est formé de deux cartilages intimement accolés à cet âge, mais qu'un sillon courbe, foncé, à contours diffus, fait distinguer facilement l'un de l'autre. C'est au niveau de ce sillon, plus large au milieu que sur les côtés, que se trouve ce renflement fusiforme longitudinal de la notocorde.

Entre l'axis et la troisième vertèbre cervicale l'élargissement de celle-ci est globuleux (*f*), un peu allongé à ses pôles supérieur et inférieur, qui se continuent avec les portions cylindriques étroites traversant le corps des vertèbres. Son diamètre est de 3 dixièmes de millimètre. Ces renflements conservent cette forme jusqu'au bas de la colonne cervicale, puis entre les vertèbres dorsales, lombaires et les premières sacrées, leur diamètre transversal atteint 4 et 5 dixièmes de millimètre; il dépasse un peu le diamètre vertical, de sorte que ces élargissements de la corde dorsale

sont un peu ellipsoïdes transversalement, bien que les portions cylindriques, larges ici de 5 centièmes de millimètre, qui traversent le corps des vertèbres, se continuent avec leurs pôles supérieur et inférieur par une base un peu élargie. Dans toute l'étendue de la colonne vertébrale, du reste, les extrémités de ces dilatations empiètent un peu sur le cartilage des corps vertébraux placés au-dessus et au-dessous d'elles. A partir des premiers espaces intervertébraux du coccyx, ces renflements deviennent ellipsoïdes dans le sens longitudinal (pl. IV, fig. 9, *i*), de plus en plus étroits, puis fusiformes, bien plus longs que larges (*e*, *f*). Enfin la corde dorsale reste tout à fait cylindrique entre les rudiments des dernières vertèbres coccygiennes. La portion cylindrique étroite de la notocorde qui traverse le corps des vertèbres est tout à fait homogène, assez tenace, transparent, sans granulations ni cellules. La masse de chaque élargissement intervertébral semble être constituée de même au premier coup d'œil, parce qu'il est clair, presque brillant sous le microscope, à côté des tissus foncés qui l'environnent. Mais, avec un peu d'attention, il est possible de reconnaître qu'il n'en est ainsi que pour la partie supérieure et pour la partie inférieure de chacun d'eux; leur milieu, au contraire, est occupé par une bande grisâtre, transversalement disposée en forme de ménisque, régulier, c'est-à-dire plus mince au milieu qu'à sa circonférence (fig. 8, *b*, *b*); celle-ci touche la face interne de la cavité. Cette bande grisâtre est granuleuse, au faible grossissement de 40 à 60 diamètres qu'il faut employer pour observer l'ensemble de ces faits. Si on comprime fortement la préparation pendant qu'on l'examine, on voit que le contenu des dilatations précédentes ne

s'échappe pas par la portion cylindrique étroite qui traverse le corps des vertèbres, lors même qu'on opère sur le bout d'une préparation, de manière à ce que ce contenu n'ait que l'épaisseur d'un corps de vertèbres à traverser. Le contenu s'échappe sur le côté entre les vertèbres, après rupture du tissu fibreux qui forme le rudiment des disques fibreux intervertébraux, tissu déjà d'une densité notable à cette époque et très-adhérent au cartilage vertébral. On voit ce contenu sortir sous forme d'un liquide visqueux, limpide, entraînant par grumeaux grisâtres, qui s'échappent de moments en moments, la bande granuleuse en forme de ménisque qui occupait transversalement le centre de la cavité. Cette bande a disparu ainsi lorsque la cavité est encore nettement reconnaissable. On peut alors observer à un fort grossissement ces grumeaux, et on constate qu'ils sont formés chacun par l'agglomération de cellules semblables à celles qui composent le cordon cylindrique de la notocorde. Ces grumeaux sont groupés d'une manière déterminée et plongés dans un liquide visqueux assez tenace, sans stries et limpide (1).

---

(1) Les particularités que je viens de décrire n'ont pas été encore observées; mais Luschka a vu sur un embryon de sept semaines : « la corde dorsale étendue dans toute la longueur du corps de l'embryon; elle montrait par places, ordinairement au milieu des disques intervertébraux déjà bien déterminés, un élargissement fusiforme. On pouvait voir facilement çà et là une enveloppe délimitée par un contour foncé et le contour plus foncé de la face interne ne s'appliquant pas exactement sur le contenu. Ce contenu se voyait facilement rassemblé en plus grande quantité aux places où plus tard se trouvera la masse gélatineuse des disques intervertébraux; il formait seulement un cordon large de 4 centièmes de millimètre, passant au travers du corps

Sous ces divers rapports, cette matière est semblable à celle qui existe entre le cordon celluleux de la notocorde et sa gaîne, dans laquelle ce cordon est plongé et en quelque sorte flottant. Ce liquide visqueux est d'autre part semblable à celui qui existe dans les cavités intervertébrales de l'adulte, en sorte qu'il n'est pas douteux que, chez ce dernier, leur contenu gélatiniforme est le même que celui qui se voit dans la gaîne de la notocorde.

Les cellules composant ces grumeaux sont polyédriques à cette époque de leur existence, à angles arrondis ou non, finement et uniformément granuleuses, grisâtres, pourvues d'un seul noyau ovoïde, rarement de deux. Elles seront décrites plus loin, ainsi que les amas de configuration spéciale qu'elles constituent par leur groupement. Nous verrons alors comment, sous l'influence de l'eau, elles se gonflent, deviennent sphériques, régulières, hyalines, sans granulations, et très-différentes de ce qu'elles étaient avant l'action de ce liquide (1).

---

des vertèbres. Ce contenu était formé en partie d'un liquide muqueux en partie d'une masse moléculaire; celle-ci se laissait chasser de la gaîne coupée en travers par une pression des lames de verre, et on y trouvait de belles cellules arrondies hyalines, dont quelques-unes n'avaient qu'un seul noyau, et les autres deux ou trois finement granuleux. » (Luschka. *Die Halbgelenke des menschlichen Kœrpers.* Berlin, 1858; in-4°, p. 52-53.) Il considère en conséquence de ces faits et d'autres analogues, observés sur les mammifères, les cavités intervertébrales, comme le résultat de l'évolution de la corde dorsale, aussi bien chez ces animaux que sur les reptiles et les poissons.

(1) Pour observer les faits que je viens de décrire, on fend la peau sur la ligne médiane du dos de l'embryon; puis on enlève avec un instrument mousse la substance de la moelle épinière dans toute l'étendue du canal ra-

Les différences de forme et de dimension des dilatations de la notocorde décrites plus haut, indiquent d'une manière nette sur un même embryon la succession des changements subis par la corde dorsale, lorsqu'on les suit de bas en haut surtout. On reconnaît d'abord que cet organe diminue graduellement d'épaisseur, puisqu'au lieu d'une épaisseur de 7 centièmes de millimètre qu'il avait sur un embryon long de 8 millimètres, il n'a plus que 5 centièmes de millimètre dans la plus grande partie de son étendue, et une épaisseur de 3 à 4 centièmes de millimètre près de ses extrémités, bien que l'embryon, au contraire, soit devenu trois fois plus grand. On voit, en outre, que la notocorde, encore cylindrique à son extrémité postérieure au niveau des dernières vertèbres coccygiennes (pl. IV, fig. 9, *c, d*) et sans renflement dans leurs intervalles, s'élargit d'abord un peu en remontant les vertèbres sacrées. Cet élargissement est peu considérable, étroit, fusiforme, allongé (*d, f*), dans le sens du grand axe du corps. Deux ou trois autres renflements de même forme, ou presque sphériques (*f, i*), mais de plus en plus larges, tout en n'étant pas plus longs, lui succèdent entre les vertèbres placées au-dessus. Ces renflements, fusi-

---

chidien, encore ouvert en arrière à cette époque. On détache ensuite avec des ciseaux la portion du rachis qu'on veut observer, et on la place dans une assez grande quantité d'eau pour la laver, puis on applique sur elle une lame de verre, qu'on presse légèrement pour renverser sur les côtés les arcs des vertèbres et leurs apophyses. On examine alors ces préparations à l'aide de faibles grossissements. On peut subdiviser ensuite ces parties du rachis en portions plus petites, susceptibles d'être amincies davantage pour en étudier les éléments à un fort grossissement.

formes chez le lapin à cette époque, sont clairs, homogènes, limpides, non granuleux, comme le cordon cylindrique de la notocorde qui traverse le corps des vertèbres. Les élargissements devenant plus considérables sans que leur longueur augmente, ils prennent une figure franchement ellipsoïde ou ovoïde dans le sens de la largeur du corps (*g*). Dès qu'ils atteignent cette forme, ils montrent dans leur milieu et en travers un amas de cellules, qui à un faible grossissement se présente sous l'aspect d'une couche granuleuse en forme de ménisque. Ils deviennent sphériques vers les intervalles des vertèbres sacrées, puis, s'élargissent davantage encore vers la dernière sacrée ou entre les dernières lombaires. Mais leur longueur n'augmente pas, elle devient au contraire moindre, parce que les intervalles vertébraux sont plus minces dans le rachis proprement dit, dont l'évolution est plus avancée que dans les portions récemment apparues du coccyx. Il en résulte que ces élargissements, toujours clairs et transparents comme le reste de la notocorde, passent de la forme sphéroïdale (de *f* en *i*) à la forme ellipsoïde dans le sens transversal, après avoir passé de la forme ovoïde en long à la forme globuleuse (de *d* en *f*).

Une ligne nette, à un fort comme à un faible grossissement, marque la limite de la corde dorsale dans toute son étendue et cela aussi bien dans sa portion étroite, au niveau du corps des vertèbres, que lorsqu'il s'agit de ses élargissements.

Lorsqu'on sépare le rachis en fragments par disjonction des vertèbres les unes des autres, les ligaments intervertébraux se détachent nettement du cartilage représentant le

corps des vertèbres ; la dilatation globuleuse, claire, transparente, continue à être visible au centre du ligament, si celui-ci n'est pas trop comprimé. Il ne reste appendu à ce dernier et au cartilage aucun lambeau transparent ni granuleux qui proviendrait d'une enveloppe déchirée plus résistante que son contenu, de sorte qu'à cette époque l'enveloppe a disparu au niveau des parties pourvues de dilatation. Près de l'extrémité du coccyx, où il n'y a pas de renflements de la corde dorsale, il reste parfois au contraire des lambeaux de cette dernière appendus aux corps des vertèbres qu'on détache. Par conséquent, chez le lapin, dès cette époque, dans toute la portion de son étendue où elle présente des élargissements, la corde dorsale est limitée directement par les tissus qui l'entourent, c'est-à-dire par les cartilages représentant le corps des vertèbres au niveau des parties encore étroites et cylindriques, et par le tissu des ligaments au niveau de ses dilatations ; sur l'adulte également, les cavités des disques intervertébraux n'ont point d'autre enveloppe que celle que représente le tissu même (1) de ces disques. Elle est entourée ainsi alternativement par le tissu car-

(1) Bruch a vu chez un embryon humain, long de six lignes, la corde dorsale traverser les vertèbres comme un mince cordon jaunâtre. Elle n'avait aucune enveloppe distincte, ni de structure cellulaire. (Bruch dans Luschka. *Die Halbgelenke des menschlichen Kœrpers ;* Berlin, 1858, in-4°, p. 52.) Elle était déjà tombée en liquéfaction dans sa partie supérieure principalement, et ne pouvait bien être vue que jusque dans le voisinage du cou. Cette dernière particularité semble indiquer que cet organe était déjà altéré, car on le voit nettement dans toute son étendue jusqu'à un âge bien plus avancé.

tilagineux du corps des vertèbres et par celui des ligaments (1).

B. — DILATATIONS INTERVERTÉBRALES DE LA NOTOCORDE DU PORC.

Chez le porc, la forme et les dimensions des dilatations de la notocorde sont les mêmes que sur le lapin. Bien que les disques intervertébraux soient très-étroits et les cartilages du corps des vertèbres allongés, les dilatations sont ovoïdes, allongées, et se montrent à partir du septième disque (pl. V, fig. 11, *k*) en comptant du dernier espace intervertébral de la queue. Vers la dixième dilatation, elles deviennent sphéroïdales (pl. V, fig. 11, *d*) et conservent cette forme jusqu'au premier ou au deuxième disque lombaire. Là elles deviennent ovoïdes transversalement. Ces renflements ont un con-

(1) Sur un embryon humain de dix semaines, Luschka a vu déjà la disparition de la corde dorsale au centre du corps des vertèbres montrant un point d'ossification; les cavités intervertébrales avaient encore un prolongement de chaque côté qui leur donnait un aspect fusiforme. La forme qu'il leur attribue dans son dessin (*loc. cit.* p. 53, pl. III, fig. 2) n'est pas tout à fait aussi régulière que celle que je leur ai vue. Les disques intervertébraux sont surtout plus épais par rapport au corps des vertèbres qu'il ne les représente. La différence entre nos observations porte principalement sur les cellules qu'il figure dans ces cavités. Elles sont, en effet, bien plus nombreuses et autrement disposées; mais surtout elles ne sont pas claires, sphériques ou allongées à cet âge. Elles sont polyédriques pressées les unes contre les autres. Elles ne prennent la disposition qu'il leur donne qu'après l'action de l'eau qui, comme on sait, modifie beaucoup les cellules, action avant laquelle elles sont grisâtres, très-granuleuses.

tour presque aussi net que chez le lapin et sont aussi larges. Chez les porcs de 10 centimètres, ils acquièrent près de $\frac{1}{2}$ millimètre dans les disques lombaires. A cet âge, les cellules, qui sont grandes, polyédriques et finement granuleuses, sont déjà distendues et déformées par de nombreuses gouttes sarcodiques développées dans leur épaisseur. Ces gouttes sont claires, légèrement rosées et réfractent très-faiblement la lumière.

Sur les chiens, les dilatations de la notocorde sont remarquablement larges et épaisses, au point d'être presque sphériques entre les pièces coccygiennes et caudales plutôt qu'ovoïdes. Celle qui est entre le corps proprement dit de l'axis et l'apophyse odontoïde disparaît dès le début de l'ossification de celle-ci. Leur contenu gélatineux est formé par une quantité de cellules plus grande que celle que constitue le liquide visqueux qui les accompagne. Beaucoup des cellules contiennent déjà des gouttes sarcodiques incolores. Quelques-unes sont distendues par une seule de ces gouttes, et leur noyau alors flotte dans la cavité pleine de ce liquide ou est adhérent à la surface interne de la substance propre de la cellule, devenue vésiculeuse et distendue en forme de paroi cellulaire mince.

C. — DILATATION DE LA NOTOCORDE DE L'HOMME.

Sur les embryons humains, les cavités ou dilatations intervertébrales de la notocorde sont plus petites, plus difficiles à observer, à contour moins net, à contenu moins clair que sur le lapin et sur le chien, fait qui est en rap-

port avec la grandeur de la cavité et avec la faible épaisseur de la portion fibreuse des disques de ces animaux adultes; sur le porc, l'observation en est aussi facile que chez le lapin, et le contour des cavités est presque aussi net.

Sur un fœtus humain, long de 5 centimètres du front au vertex, et de 7 centimètres jusqu'aux talons, la corde dorsale existait tout entière sans interruption, depuis le corps du sphénoïde jusqu'à la dernière pièce du coccyx. Elle offrait la disposition générale décrite et figurée précédemment d'après l'embryon de lapin. Elle était seulement un peu plus large (7 centièmes de millimètre) et grisâtre moins transparente. La portion céphalique, renflée en massue, était plus grande qu'aux époques antérieures, avait conservé sa forme et était plus difficile à voir, parce que le cartilage de l'occipital et du corps du sphénoïde était plus épais que chez les embryons moins âgés. Il n'y avait pas de dilatation arrondie entre l'atlas et l'occipital.

Les dilatations intervertébrales, malgré le plus grand volume de cet embryon, étaient des deux tiers plus petites que chez le lapin (*fig.* 8 et 9). Elles étaient ovoïdes dans le sens longitudinal, grisâtres et non claires; enfin leur contour était moins net que sur ce dernier. Elles étaient pleines d'un contenu grisâtre (pl. VII, *fig.* 15, *a*, *b*) qui se prolongeait manifestement dans le canal (*c*) traversant le centre du corps des vertèbres; le contenu était entièrement formé de cellules polyédriques, grisâtres, finement granuleuses. Les cellules n'étaient point encore réunies en amas ovoïdes, arrondis, ramifiés ou non, etc., tels que ceux qu'on trouve déjà, à un âge moins avancé sur le lapin. Aussi le contenu s'échappait de la cavité intervertébrale en une seule masse et

non sous forme de grumeaux flottants dans un liquide. Le canal central traversant le cartilage du corps de chaque vertèbre était un peu rétréci au milieu, et sur le contenu celluleux expulsé on voyait que ce dernier s'amincissait beaucoup à ce niveau (*fig.* 15 *c*). Ce canal n'était oblitéré sur aucune vertèbre, et aucune de celles-ci ne montrait encore trace d'ossification. Néanmoins, il n'était plus possible de démontrer la présence de l'enveloppe hyaline de la chorde dorsale, ni du côté de la tête, ni vers le coccyx.

A partir du premier espace intervertébral du sacrum, les dilatations de la corde dorsale étaient très-étroites, allongées (planche VI, *fig.* 14 *abc*); elles manquaient complétement dans toute la portion coccygienne de celle-ci (*de*). Au sacrum et au coccyx, la notocorde ne se rétrécissait pas en traversant le centre des vertèbres. La notocorde se terminait assez brusquement en pointe mousse au centre de la dernière pièce du coccyx sans la traverser de part en part (*e*). Celle-ci était irrégulière, comme bilobée; il n'y avait que quatre pièces cartilagineuses, coccygiennes sans apophyses transverses.

D. — DILATATIONS INTERVERTÉBRALES DE LA NOTOCORDE CHEZ LA VACHE.

C'est vers l'époque où les embryons de vache ont de 30 à 32 millimètres qu'on voit commencer à se produire les renflements intervertébraux de leur notocorde; à cette époque il n'existe pas encore de point osseux dans leurs vertèbres. Ces renflements sont ovoïdes dans le sens longitudinal et très-peu prononcés dans le principe. Leur étude est

d'autant plus difficile que la notocorde est plus mince que chez l'homme, et que son cordon cellulaire est plus transparent, formé de cellules moins grenues. De plus, le tissu fibreux des disques intervertébraux, moins transparent dans toutes les espèces que celui des cartilages, est plus foncé encore chez les ruminants que dans les embryons des autres ordres que j'ai pu examiner (1). Sur un embryon de vache long de 99 millimètres, la notocorde ne s'apercevait plus dans l'apophyse basilaire de l'occipital, dont l'ossification était déjà très-prononcée, mais on la voyait dans l'apophyse odontoïde. Depuis là jusqu'à la dernière vertèbre caudale ou coccygienne, qu'elle traversait de part en part, elle était claire, transparente, large de 6 centièmes de millimètre dans toute son étendue. Régulièrement cylindrique dans toute sa partie postérieure, elle ne présentait de renflement bien net que dans le disque qui sépare la onzième de la douzième vertèbre caudale en comptant de la dernière.

(1) Il faut se garder de croire que ce soit la portion de la notocorde correspondant aux intervalles des vertèbres, qui forme les disques ou ligaments intervertébraux, bien que beaucoup d'auteurs l'aient admis depuis Bischoff. Ce savant s'exprime ainsi à ce sujet. (Bischoff, *Traité du développement de l'homme, etc.* Paris, 1843 ; in-8°, p. 381.) « Avec le temps, ces anneaux (ceux des cartilages du corps des vertèbres) augmentent de masse, deviennent plus larges et plus épais, et étranglent de plus en plus la corde qu'ils entourent, laquelle finit par disparaître entièrement ; il en reste une portion entre chaque couple d'anneaux. Les anneaux eux-mêmes deviennent les corps des vertèbres et *les portions intermédiaires de la corde, le ligament intervertébral.* » Nous verrons que les anneaux cartilagineux, ou corps vertébraux, n'étranglent nullement la notocorde, et que ce ne sont point les portions de celle-ci, intermédiaires aux vertèbres, qui forment les disques symphysaires.

Cependant, au centre des deux disques précédents, on commençait à voir deux dilatations à peine prononcées (pl. V, fig. 10, *j*, *k*,) et à contour diffus. Le renflement, une fois bien limité, tranche par sa teinte claire sur l'aspect foncé du disque intervertébral et se montre à un faible grossissement finement granuleux au centre ; cela est dû à ce que les cellules y sont plus accumulées qu'à la périphérie de la cavité.

Ces renflements étaient ovoïdes en travers, malgré la longueur des disques intervertébraux de la queue, devenaient presque lenticulaires en approchant du sacrum (*q*, *q*,) et dans les disques séparant encore les unes des autres les vertèbres sacrées. Entre la première et la deuxième pièce du sacrum, les renflements devenaient globuleux, larges de 25 centièmes de millimètre, conservaient cette forme entre les vertèbres lombaires jusqu'au dernier disque des vertèbres dorsales. Là ils reprenaient la forme lenticulaire, mais avec moins d'épaisseur dans tout le rachis, jusqu'au disque qui sépare l'axis de la troisième vertèbre cervicale. Du reste, la notocorde n'offrait de continuité que depuis la dernière vertèbre caudale jusqu'à la quinzième en remontant du côté du sacrum. A compter de cette dernière jusqu'à l'axis, un point d'ossification ovoïde en travers, puis bientôt sphéroïdal, se voyait au centre du cartilage du corps de chaque vertèbre, et interrompait la continuité de la notocorde au milieu de chacune de celles-ci.

E. — DILATATIONS DE LA NOTOCORDE DU MOUTON.

Sur un embryon de mouton long de 4 centimètres, la notocorde offrait encore son extrémité antérieure renflée, mais

à contour diffus, difficile à voir, s'avançant jusqu'à la partie postérieure de la vésicule auditive (pl. I, fig. 3). De là elle s'étendait sans interruption jusqu'au bout de la queue, et se terminait en pointe mousse à l'extrémité postérieure de la dernière vertèbre caudale ou coccygienne, fait visible aussi sur les autres embryons de mouton dont il est question ci-dessous. Chez tous les embryons elle était large de 5 centièmes de millimètre, granuleuse, grisâtre, à contour un peu moins net que celle des rongeurs. Sur celui qui était long de 4 centimètres, elle n'offrait de renflements que dans quatre disques intervertébraux lombaires. Ces renflements étaient très-étroits, fusiformes, à peine perceptibles.

Sur un autre embryon de mouton, long de 7 centimètres, la notocorde était cylindrique dans toute son étendue, si ce n'est dans les deux premiers disques intervertébraux du sacrum, dans tous ceux des lombes et dans les deux derniers du dos. Ces dilatations étaient fusiformes, à peine ovoïdes aux lombes (pl. V, fig. 12), étroites, grisâtres, granuleuses, à contour un peu diffus. Les disques étaient plus minces et moins transparents que chez les fœtus d'homme, de porc, de lapin et de chien. La notocorde était interrompue par un point d'ossification au centre du cartilage de chaque vertèbre dans tout le rachis (*b*, *c*, *d*, *e*), depuis en bas jusqu'à la quatrième vertèbre lombaire, où cessaient de se montrer les points d'ossification. A partir de là, elle était continue et sans renflements jusqu'au bout de la dernière vertèbre caudale.

Sur un autre embryon de mouton long de 80 millimètres, les points d'ossification s'étendaient jusqu'au cartilage de la dernière vertèbre sacrée. Les disques intervertébraux étaient minces, peu transparents; la notocorde

ne s'apercevait plus ni dans les ligaments intervertébraux ni dans le cartilage du corps des vertèbres de chaque côté du point d'ossification, contrairement à ce qui avait lieu chez les fœtus dont il a été question plus haut. Les traces de renflement de la notocorde qui se voyaient dans les disques intervertébraux lombaires de l'embryon précédemment décrit avaient complétement disparu et étaient déjà envahies par le tissu fibreux de ses ligaments. Les disques placés entre les pièces du sacrum étaient devenus très-minces, mais la notocorde ne se voyait ni dans les disques ni dans le cartilage des pièces sacrées. Elle reparaissait pourtant à partir de la dernière et s'étendait, sans interruption ni renflements intervertébraux, jusqu'au bout de la dernière vertèbre caudale.

De même que chez le fœtus humain dont il a été question précédemment, il était impossible de retrouver l'enveloppe hyaline de la notocorde, si manifeste et si facile à observer sur les embryons très-jeunes encore. Le contour des dilatations intervertébrales du sacrum et des lombes (fig. 12, *a*, *g*, *h*, *i*) était diffus, et le contenu de ses cavités était grisâtre, formé de cellules polyédriques non réunies en amas et sans liquide analogue à celui qu'on trouve sur les lapins, etc.

Au centre du cartilage du corps de la dernière vertèbre lombaire, on observait une tache diffuse, finement grenue, plus foncée que le reste de l'organe ; avec un peu d'attention, il était possible de voir que la notocorde n'était pas encore interrompue à ce niveau, bien que (fig. 12, *b*) les granulations la rendissent plus difficile à observer qu'au-dessus et au-dessous de ce point. A la place correspondante à

cette tache, au centre de la quatrième vertèbre lombaire du cartilage, en un mot, on voyait un point d'ossification régulièrement ovalaire en travers et tout à fait opaque. Il interrompait assez brusquement à ce niveau la portion de la notocorde traversant le corps de la vertèbre (*c*). Sur la troisième vertèbre lombaire, un point d'ossification semblable, mais presque double, interrompait encore la corde dorsale, puis il en était de même au centre de la deuxième lombaire et de toutes les autres vertèbres jusqu'à la septième vertèbre cervicale. La notocorde se continuait sans interruption dans les autres vertèbres du cou, et était interrompue encore par un point osseux dans l'apophyse basilaire de l'occipital. Au-delà de ce point d'ossification, l'on apercevait encore l'extrémité céphalique de la notocorde, mais difficilement. Les points osseux des vertèbres étaient d'un tiers au moins plus gros que le second de ceux signalés ci-dessus, et ovalaires à contour assez net. On les voyait à l'œil nu, par transparence, dans toutes les vertèbres, sous forme de taches blanches opaques, larges de $\frac{1}{2}$ millimètre. La notocorde se trouvait ainsi interrompue d'espace en espace avec régularité au milieu du corps des vertèbres. Cette même disposition s'observe sur des fœtus humains, sur ceux de chien, de porc, de lapin, de rat, de vache, lors de l'apparition du premier point d'ossification central dans chaque vertèbre. Cette partie non dilatée de la corde dorsale disparaît ainsi peu à peu à mesure que progresse l'ossification ; mais elle s'aperçoit encore assez longtemps comme un court prolongement bipolaire de chaque dilatation intervertébrale.

Ainsi, sur le mouton, à compter de l'apparition du point d'ossification au centre du cartilage du corps des vertèbres,

la notocorde disparaît dans celui-ci, de même que ses dilatations intervertébrales, qui sont envahies par le tissu fibreux dans les points où elles s'étaient montrées. Cette disparition est même assez rapide, puisqu'elle est déjà effectuée sur les embryons longs de 8 centimètres et avant que les dilatations se soient produites au-delà des vertèbres lombaires. Chez les fœtus de vache, les dilatations se forment dans tous les disques intervertébraux comme il a été dit plus haut, mais disparaissent bientôt comme sur le mouton, de telle sorte qu'elles n'existent plus dans les fœtus longs de 20 à 25 centimètres.

F. — DES DILATATIONS INTERVERTÉBRALES DE LA NOTOCORDE CHEZ LE RAT.

Sur deux embryons de rat (*Mus decumanus*, Pallas) longs de 28 millimètres du vertex à la racine de la queue (laquelle avait de plus 11 millimètres), j'ai constaté que l'évolution de la notocorde est à cet âge arrivée aux périodes d'évolution correspondantes à celles décrites ci-dessus.

Le corps du sphénoïde et ses ailes sont en partie ossifiés, mais laissent voir l'extrémité antérieure de la notocorde encore claire, non envahie par l'ossification. L'on suit celle-ci dans l'apophyse basilaire cartilagineuse; mais comme la base de l'apophyse est ossifiée (ainsi que les ailes de l'occipital) déjà dans une grande étendue, la notocorde est interrompue à ce niveau (planche III, fig. 7). On la voit ensuite reparaître au bord postérieur de celle-ci, passer derrière l'arc antérieur de l'atlas et traverser toute l'étendue de l'apophyse

odontoïde, puis toute la colonne cervicale, dont elle transperce le centre des vertèbres en conservant le diamètre qu'elle avait chez les embryons de 12 millimètres et au dessous. Elle présente un petit renflement ovoïde au milieu du corps de l'axis, au niveau du sillon de jonction de ses deux parties; ce renflement est un peu plus large que sur le lapin, mais moitié moins long (pl. III, fig. 7, *d*).

Entre l'axis et la troisième vertèbre cervicale, au milieu du disque intervertébral, la notocorde est considérablement dilatée, et ces dilatations s'observent dans toute la longueur du rachis comme chez les lapins. Elles cessent à la queue au huitième ou au neuvième avant-dernier espace intervertébral coccygien.

Le cartilage du corps des vertèbres a presque la même forme que ceux du lapin; mais à la queue, à partir de la deuxième ou troisième vertèbre coccygienne, toutes les autres ont la forme de poulie. Comme les disques intervertébraux sont bien plus minces que chez les lapins, les cavités sont toutes ovoïdes en travers, mais plus larges et moins épaisses que sur ce dernier, au point que leur diamètre transverse égale presque celui du corps vertébral même, surtout aux lombes. Au cou, les cavités intervertébrales, sont minces, lenticulaires (fig. 7 *d*); elles sont limitées en haut et en bas directement par le cartilage du corps des vertèbres, qui ellesmêmes se touchent presque à leur périphérie, tellement est mince le disque qui les unit ensemble. La cavité intervertébrale empiète aussi sur le corps vertébral plus que dans les autres animaux et se continue avec le canal qui la traverse de part en part et loge la notocorde. Au dos, les cavités, bien que toujours lenticulaires, sont moins larges, épaisses, et

leur circonférence plus arrondie rapproche leur coupe de celle d'un ovoïde. Aux lombes et dans les premiers espaces intervertébraux du sacrum, les cavités deviennent de nouveau presque aussi larges en travers que le corps des vertèbres et offrent à peu près la forme d'un ovoïde allongé, un peu aplati. Entre les vertèbres caudales, leur figure est plus nettement ovoïde. Les cellules de la notocorde forment dans ces cavités un amas central grisâtre, d'aspect grenu à un faible grossissement, qui ne les remplit pas tout à fait; la forme de ces amas reproduit à peu près celle de la cavité; ils sont nettement lenticulaires dans les cavités du cou, et leur coupe offre à peu près la figure d'un ovoïde. Ces amas de cellules sont constitués comme chez le lapin, et on peut aussi, par une légère pression, rompre le tissu du disque qui limite la cavité, et faire sortir le contenu sous forme de grumeaux flottant dans un liquide gélatiniforme limpide. Avant cet écrasement, on voit encore la continuation de cet amas central de cellules des cavités avec le cordon celluleux de la notocorde qui traverse de part en part le cartilage du corps des vertèbres. Toutefois, à cet âge, un point d'ossification central existe depuis la deuxième vertèbre dorsale (*j*, *k*) jusqu'à la troisième ou à la quatrième lombaire; dans toute cette portion du rachis, la notocorde se trouve aussi interrompue d'espace en espace par ce point d'ossification. Néanmoins, au travers de ce point opaque, on aperçoit un trait de la largeur de la notocorde environ, un peu moins foncé que le reste du tissu osseux, qui indique la trace de celle-ci. Bien que le corps des vertèbres cervicales ne présente encore aucun indice de ce point d'ossification central, leurs apophyses transverses sont ossifiées (*g*, *h*, *i*) autant que celles du

dos et des lombes; mais, au bassin, les apophyses transverses sont encore cartilagineuses, comme le corps des vertèbres.

Ces renflements ou dilatations de la notocorde représentent autant de cavités intervertébrales, creusées au centre des disques déjà formés de tissu fibreux assez dense et foncé, peu transparent sous le microscope. La minceur du tissu du disque à côté de la grandeur de la cavité est d'autant plus frappante que, sur les rats adultes, les disques intervertébraux sont extrêmement minces, purement fibreux, comme chez le bœuf et le cheval, et complétement dépourvus de cavité centrale.

Remarques sur les faits précédents. — On voit, par ce qui précède, comment le cordon celluleux qui représente la corde dorsale se trouve interrompu d'espace en espace, et comment s'oblitère le canal qui le renferme au centre du cartilage des vertèbres. Le liquide visqueux qui accompagne la notocorde augmente plus ou moins dans cette cavité suivant les espèces animales, et les cellules de la notocorde se trouvant à ce niveau se multiplient par segmentation. Elles forment ainsi des amas ou groupes qui, d'abord continus et adhérents les uns aux autres, deviennent peu à peu libres dans le liquide de la cavité; presque toujours aussi elles forment une couche adhérente à la face interne de cette dilatation. Ces phénomènes se produisent à une période de l'évolution embryonnaire qui diffère d'une espèce animale à l'autre. Chez le lapin, ils ont lieu aussitôt que se forment les dilatations intervertébrales de la notocorde, avant l'oblitération du canal central de chaque vertèbre par l'ossification; sur l'embryon humain, on trouve la cavité intervertébrale

ovoïde remplie par une masse unique de cellules, et il n'y a presque pas de liquide autour de celle-ci. Ce n'est qu'après l'apparition du point central d'ossification des vertèbres que le liquide se produit plus abondamment et qu'on voit la masse unique centrale dont les cellules se multiplient se partager en plusieurs petits amas de formes diverses. Il en est de même dans l'embryon de vache, bien que la cavité s'oblitère peu de mois après; sur le mouton, l'oblitération de celle-ci a lieu avant la production de ce liquide et des amas de cellules aux dépens de la dilatation centrale du cordon celluleux qui remplissait la cavité intervertébrale. Chez le chien, il ne se produit pas de liquide visqueux dans cette dernière, ni d'amas distincts de cellules; comme dans les poissons, cette cavité, bien que très-grande relativement, reste toujours remplie par les cellules de la notocorde immédiatement contiguës.

Ayant fait connaître le mode de production des cavités intervertébrales aux dépens de la notocorde, il faut actuellement étudier l'enveloppe de celle-ci et les cellules qui la composent et qui concourent à constituer le contenu de ces cavités lorsqu'elles ne le forment pas exclusivement.

CHAPITRE IV.

De l'enveloppe de la notocorde.

Nous avons vu dans le chapitre précédent quelle est la constitution générale de la notocorde et quelles sont les modifications qu'elle subit, que subit en particulier le cordon celluleux, qui en est toujours considéré comme la partie constituante fondamentale.

Avant d'examiner séparément les changements que présentent soit le liquide qui sépare l'un de l'autre l'enveloppe et le cordon central, soit les cellules qui forment ce dernier, il importe de donner une description de cette enveloppe, qui est fort distincte sous tous les rapports des autres parties de cet appareil embryonnaire.

Quelque mince que soit encore la notocorde prise au-dessous du sillon de la ligne primitive dans l'axe de la tache embryonnaire, elle offre déjà l'aspect décrit précédemment et possède une enveloppe close de toutes parts (1).

---

(1) Baer (dans Burdach, *loc. cit.* 1838; t. III, p. 209) a décrit très-exactement, sur le poulet, comment naît l'enveloppe de la corde dorsale : « Comme la corde dorsale commence à se former par une série simple de globules d'une couleur foncée, de même aussi on voit cette ligne entourée d'une bordure claire, et plus la corde est foncée, plus la bordure est claire, jusqu'à ce

Cette enveloppe présente la forme et les dimensions attribuées dans le chapitre précédent à l'appareil entier, et elle suit les changements que ce dernier présente avec l'âge sous ces deux points de vue.

Sa surface extérieure est nette, lisse, régulière, et les éléments anatomiques qu'elle entraîne lorsqu'on l'isole des tissus ambiants s'en détachent sans trop de difficulté à l'aide des mouvements causés par des pressions alternatives exercées par les lamelles de verre. Il en est ainsi tant que le cartilage des corps vertébraux est assez mou pour être écrasé par la pression de manière à mettre ainsi en liberté la notocorde sur toute sa longueur ou sur une partie seulement, selon les hasards de la préparation. Plus tard, lorsque ce tissu est devenu plus ferme, si les dilatations intervertébrales n'existent pas encore, on peut retirer du centre des corps vertébraux et des disques cette enveloppe avec le cordon celluleux qu'elle renferme, sur une longueur plus ou moins considérable. Sa surface extérieure n'entraîne pas les éléments qui auparavant

---

qu'elle acquière la diaphanéité du verre. Mais, attendu qu'on la distingue de tous les côtés, elle est, à proprement parler, une *gaîne de la corde dorsale.* Dans le principe, elle ne fait qu'un avec la corde.... Il n'y a de remarquable à la corde dorsale que la solidité de la masse diaphane, car, en procédant avec précaution, on peut, dès le troisième jour de l'incubation, séparer la corde de sa gaîne.... La gaîne entoure aussi le bouton de la corde dorsale, et c'est là que les extrémités antérieures des lames dorsales s'appliquent l'une contre l'autre. (Voyez aussi *Entwickelungsgeschicte ;* 1828 ; in-4°, p. 16.) Il ne parle pas de ses modifications évolutives ultérieures. Quant à la corde dorsale des mammifères, il se borne à noter que son enveloppe est très-mince chez ces animaux (*loc. cit.* 1828 ; zweiter Theil, p. 208).

restaient adhérents çà et là contre elle, mais la gaîne elle-même reste semblable à ce qu'elle était dans les périodes du développement.

Quant aux corps vertébraux, ils offrent un canal à surface nette qui les traverse de part en part, et qui a déjà été décrit précédemment (page 269, pl. VII, fig. 16, 17, 18 et 19, *a*). Aucun fait ne prouve mieux que la substance de la gaîne de la notocorde ne prend aucune part à la production ni à la constitution du tissu des vertèbres et des ligaments intervertébraux.

La substance de cette enveloppe est tout à fait incolore, homogène, sans granulations, ni noyaux, ni fissures ou perforations. Elle se plisse parfois dans le sens longitudinal, surtout vers l'extrémité céphalique ou renflée de l'organe, mais elle ne présente pas de stries proprement dites.

Son épaisseur est d'abord très-difficile à déterminer, parce qu'on ne voit pas de suite la ligne qui, parallèle à celle qui marque sa surface extérieure, vient indiquer la limite de la face interne. Cela tient à ce que le liquide, également hyalin, qui remplit l'espace séparant le cordon celluleux grisâtre de son enveloppe, offre un pouvoir réfringent égal à celui de cette dernière même; de sorte qu'on ne distingue qu'un espace uniformément clair entre la surface extérieure de la paroi et celle du cordon celluleux qu'elle protége. Mais lorsque, par suite d'un commencement d'altération cadavérique ou du contact de l'eau, les cellules les plus superficielles du cordon celluleux présentent les expansions sarcodiques vésiculiformes mentionnées plus haut, qui viennent presser contre l'enveloppe, la face interne devient très-distincte. Une ligne nette, parallèle à la surface extérieure l'indique, de

chaque côté; la distance qui sépare cette ligne de celle qui limite la surface externe montre quelle est l'épaisseur de cette enveloppe. Elle est, comme je l'ai déjà dit, de 3 millièmes de millimètre sur toutes les espèces animales que j'ai observées et dans toute l'étendue de l'organe.

Ces particularités sont encore plus faciles à voir après l'action de l'acide acétique. Ce réactif, en effet, rend un peu plus grenu le cordon celluleux de la notocorde et moins nette sa surface; il contracte un peu la gaîne étudiée ici et fait diminuer l'épaisseur de la couche de liquide interposée entre ces deux organes. En outre, il rend plus foncée et très-légèrement jaunâtre la substance de l'enveloppe, sans la dissoudre ni changer son aspect homogène, mais il faut qu'elle réfracte plus fortement la lumière qu'auparavant. En même temps on voit se dessiner nettement la ligne qui marque la face interne de la cavité que limite cette enveloppe, et celle qui indique la face interne devient plus foncée, comme sur tous les corps qui réfractent assez fortement la lumière.

A l'exception des changements de forme de cette gaîne qu'entraîne la production des dilatations intervertébrales de la notocorde, elle conserve les caractères précédemment décrits pendant toute la durée de son existence. On peut en constater la présence jusqu'à l'époque où apparaît le point osseux central du corps de chaque vertèbre. A compter de ce moment, l'enveloppe de la notocorde ne peut plus être isolée ni aperçue; elle disparaît dans le petit canal du corps vertébral correspondant qui la logeait, et s'atrophie graduellement de là vers les cavités des disques intervertébraux voisins.

C'est à tort que quelques auteurs ont supposé que les

corps vertébraux cartilagineux proviennent d'une *chondrification* de la gaîne de la notocorde ou d'une transformation de celle-ci même en cartilage, tandis que les disques intervertébraux résulteraient du passage à l'état fibreux de ces mêmes parties, en des points alternant avec les précédents. Ces organes naissent chacun à des époques et d'une manière différentes autour de cette enveloppe, mais celle-ci ne prend aucune part à ce phénomène. On ne voit nullement qu'après avoir eu les caractères ci-dessus, elle soit le siége d'un épaississement et d'un changement de nature, de manière à devenir là cartilage et tissu fibreux ou fibrocartilagineux au-dessous et ainsi de suite. Elle disparaît au contraire au niveau du cartilage du corps vertébral lors de son ossification, et, au niveau des disques, la gaîne disparaît lorsque surviennent les changements de la notocorde même, décrits plus loin. Elle n'est pas non plus, à proprement parler, une *colonne vertébrale rudimentaire*, ni *la base embryonnaire de la colonne vertébrale*, en tant que point de départ de la génération des pièces cartilagineuses, osseuses et fibreuses de celle-ci, contrairement à ce qu'admettent beaucoup d'auteurs.

A cet égard, elle constitue un organe ayant son individualité propre, au point de vue du mode de génération et de développement des éléments qui constituent ses trois parties fondamentales (cordon celluleux, gaîne et liquide visqueux interposé) ; au point de vue aussi de leur mode de disparition chez les animaux, où ils disparaissent complétement (ruminants) ou partiellement sur la plupart des vertébrés.

En raison d'un certain degré de rigidité et d'élasticité, la notocorde joue le rôle de pièce de soutien ou squelettique pour la portion du blastoderme dite *tache embryonnaire*.

Mais bientôt, en même temps que se produisent les organes essentiels du nouvel être, s'ajoutent à elle les corps cartilagineux des vertèbres et leurs disques, qui souvent la remplacent en totalité ou en grande partie, sans en provenir.

Les faits de ce genre ne sont pas rares durant la succession des phases de l'évolution. La notocorde n'est pas plus une colonne vertébrale rudimentaire ou embryonnaire, anatomiquement parlant, que le *cartilage de Meckel* n'est une mâchoire inférieure transitoire, et réciproquement, les pièces vertébrales ne proviennent pas plus des tissus de la corde dorsale que les maxillaires inférieurs ne dérivent du cartilage précédent.

Dans le principe, le cartilage de Meckel sert de squelette ou de soutien au premier *arc viscéral* ou branchial de l'embryon, mais il établit bientôt une connexion directe, sans discontinuité de tissu, et des plus remarquables, entre la symphyse de la mâchoire inférieure et le marteau de l'oreille moyenne qui en constitue l'extrémité intérieure. Cette connexion curieuse entre le squelette de l'appareil auditif et celui de l'appareil masticateur et du goût, qui se prolonge pendant une partie de la vie fœtale chez tous les vertébrés, ne laisse plus tard aucune trace sur les mammifères adultes; toutefois, des parties d'autres systèmes anatomiques établissent pendant toute la vie des relations de cet ordre entre l'oreille moyenne et ces derniers appareils; telles sont la continuité de la muqueuse du tympan avec celle du pharynx, les rapports de contiguïté de la corde du tympan, se rendant à la langue, et ceux plus indirects d'insertions musculaires.

L'apparition de cet organe est un fait d'épigénèse et non d'évolution, c'est-à-dire qu'il ne dérive d'aucun autre l'ayant

précédé ; c'est lui au contraire qui précède la naissance de la mâchoire inférieure. On voit ici, comme pour beaucoup d'autres espèces d'éléments anatomiques, de tissus et surtout d'organes, certaines dispositions embryonnaires précéder et préparer en quelque sorte chacune des dispositions anatomiques définitives, mais sans prendre part d'une manière directe à leur constitution. Ces dispositions succèdent aux autres sans les reproduire. Elles ont, par rapport aux premières, des relations de succession, mais non de similitude, lorsqu'il s'agit de tissus constituants, comme dans le cas dont nous parlons (1).

Or ces remarques s'appliquent en tous points à la notocorde par rapport à la colonne vertébrale. C'est ce que vont nous montrer les faits exposés dans la seconde division de ce travail.

---

(1) Ch. Robin et Magitot, *Sur un organe transitoire de la vie fœtale, Ann. des sc. naturelles.* Paris, 1862 ; in-8°, t. XVIII.

DEUXIÈME PARTIE.

DES CAVITÉS INTERVERTÉBRALES ET DE LEUR CONTENU.

Les faits qui concernent le mode de génération des parties qui limitent les cavités intervertébrales, c'est-à-dire les disques et les vertèbres mêmes qu'ils séparent, doivent être connus pour arriver à bien comprendre ce que sont exactement ces cavités mêmes. Il en sera question par conséquent dans les deux premiers chapitres de cette deuxième partie; le troisième chapitre traitera essentiellement de leur contenu et de ses modifications successives.

CHAPITRE I.

De la formation des cavités intervertébrales, des disques et des vertèbres qui leur correspondent.

---

§ I. — *Sur quelques faits concernant l'apparition du cartilage d'ossification des vertèbres en général.*

Lorsque les embryons des mammifères ont atteint une longueur de 4 à 6 millimètres (cochon d'Inde, lapin, rat, chien, mouton, porc, vache, embryons humains), on voit, vers le milieu de la longueur de la notocorde, apparaître autour d'elle, comme axe, le cartilage du corps de trois à quatre vertèbres thoraciques. Leur nombre augmente assez rapidement pendant les jours suivants, tant en avant qu'en arrière, jusqu'à ce qu'il atteigne le chiffre propre à chaque espèce. L'apparition des cartilages des vertèbres coccygiennes se fait ensuite plus lentement. Les uns et les autres de ces cartilages sont séparés par des espaces réguliers, d'abord plus clairs et beaucoup plus étroits qu'eux. Le tissu propre des disques intervertébraux naissant quelques jours après, ces espaces deviennent au contraire plus foncés que les cartilages et que la notocorde par laquelle ils sont traversés comme ces derniers.

C'est dans ces espaces intervertébraux pleins d'une substance hyaline translucide qu'a lieu la génération du tissu fibreux des disques. Cette production commence par la genèse des noyaux embryoplastiques ovoïdes, plus étroits et plus allongés que les noyaux particuliers par l'apparition desquels débute la formation des cartilages; presque tous ont leur grand diamètre parallèle ou à peu près parallèle à l'axe du rachis. La couche intervertébrale qu'ils constituent est plus foncée, moins transparente que le corps cartilagineux qu'elle sépare; elle s'épaissit de plus en plus, et on distingue bientôt dans son épaisseur des corps fibro-plastiques presque tous fusiformes, ayant pour centre un de ces noyaux et disposés à peu près parallèlement les uns aux autres dans le sens de la longueur du rachis, et dont le nombre l'emporte de plus en plus sur celui des noyaux restés libres. A un grossissement de 300 diamètres ou environ, qui permet de bien distinguer ces éléments et ceux du cartilage, on voit qu'il y a une différence très-tranchée entre le tissu du disque et celui des cartilages qu'il sépare, malgré l'intime contiguïté de leurs deux substances. Une ligne nette dévoile la régularité du plan d'adhésion de ces deux tissus; de l'un de ses côtés, le tissu du disque est foncé, de l'autre, celui du cartilage est beaucoup plus translucide, et aucun des éléments de l'un des deux tissus ne traverse ce plan pour passer dans l'organe du côté opposé et établir une transition de l'un à l'autre. Il en est de même, du reste, sous ces divers rapports, pour le périchondre des autres surfaces des vertèbres et des autres os des fœtus. D'un côté de ce plan, le cartilage offre des chondroplastes arrondis ou ovoïdes que le noyau ne remplit

plus et déjà séparés les uns des autres par une épaisseur de substance fondamentale hyaline égale au moins à leur propre diamètre. Celle-ci et les chondroplastes cessent d'exister d'une manière nette au niveau du plan d'adhérence du cartilage avec le disque. De l'autre côté du plan d'adhésion, le tissu de ce ligament présente des noyaux embryoplastiques étroits, allongés, plus petits que les chondroplastes, et des corps fusiformes minces, écartés et réunis à la fois par une substance homogène, non granuleuse, plus transparente que celle du cartilage, avec laquelle pourtant elle est en contiguïté immédiate. Entre les tissus du disque et du cartilage il n'y a pas interposition du périoste formé de corps fibroplastiques immédiatement contigus les uns aux autres, qui recouvre la circonférence de chaque corps de vertèbres. (Ch. Robin, *Sur le développement des vertèbres. Journal de l'anatomie et de la physiologie*. Paris, 1864. In-8°, p. 298.) Jamais on ne voit la colonne vertébrale être constituée d'une seule pièce dont le cartilage passerait directement par places à l'état de disque fibreux par striation en fibres, contrairement à ce qu'ont admis quelques auteurs modernes (1).

---

(1) On sait que l'embryogénie, aussi bien que la physiologie, contredit l'hypothèse fondée sur des faits pathologiques mal observés et, par suite, mal interprétés, d'après laquelle les éléments des tissus lamineux, osseux, cartilagineux, etc., formeraient un groupe dans lequel une espèce se transformerait en telle ou telle autre pour revenir ensuite accidentellement, soit à son état originel, soit à l'état de quelque autre espèce différente de celle qui aurait servi de point de départ. Ce n'est que d'après des observations mal faites de pièces pathologiques, et en dehors de toutes connaissances embryogéniques, que quelques médecins admettent que les cellules du cartilage deviennent des

Plus tard, mais assez longtemps avant l'apparition des premiers points d'ossification dans les corps vertébraux thoraciques, etc., la notocorde augmente de volume, s'épaissit ou se dilate régulièrement en forme de varicosités ovoïdes, fusiformes ou lenticulaires au centre de chaque disque intervertébral, depuis le premier jusqu'au dernier du coccyx, y compris ceux du sacrum. Ces dilatations persistent partout où les vertèbres ne se soudent pas, jusqu'à un âge qui varie

---

ostéoplastes; que les *ostéoplastes se transforment en médullocelles,* qu'ils peuvent être *mis en liberté par désagrégation de la matière osseuse proprement dite ;* que les médullocelles à leur tour deviennent des cellules adipeuses, et que non-seulement le tissu fibreux peut devenir cartilage ou os, mais que le *cartilage* peut, dans le rachis, se *strier en fibres pour constituer les disques intervertébraux.* L'embryogénie, je le répète, montre que ce n'est pas de la sorte que naissent les disques intervertébraux. (Voyez *Journal de l'anatomie et de la physiologie*, Paris, 1864, in-8°, p. 283.) On trouve, en traitant le tissu lamineux par l'acide acétique, des noyaux réguliers ou un peu irréguliers; ce sont des noyaux embryoplastiques et les noyaux des corps fibro-plastiques, qui persistent pendant toute la vie partout où il y a des fibres lamineuses. On y rencontre aussi des fibres lamineuses restées à l'état de *corps fibro-plastiques fusiformes ou étoilés.* Virchow les suppose être des *formes non développées du tissu élastique* qui serviraient à *charrier des sucs et à favoriser la nutrition.* Kölliker, les regardant comme analogues physiologiquement aux canalicules de la dentine et à ceux des ostéoplastes, les appelle *cellules plasmatiques,* et nomme *tubes plasmatiques* leurs prolongements fusiformes ou étoilés. L'observation embryogénique ne permet d'accepter ni le mot ni l'hypothèse. Celle-ci est imitée de celle des exhalants et des absorbants qu'on supposait jadis destinés à jouer ce rôle ; hypothèse que renverse la connaissance des lois de l'endosmose, et ce fait surtout que nombre de tissus dépourvus de noyaux embryoplastiques et de corps fibro-plastiques, autant que de *tubes plasmatiques,* se nourrissent et *charrient des sucs* aussi bien que ceux qui renferment ces corps comme éléments anatomiques accessoires.

d'une espèce animale à l'autre, et constituent les cavités pleines de la substance gélatiniforme des disques intervertébraux.

Dans l'apparition des cartilages du corps de chaque vertèbre autour de la notocorde, pendant qu'elle est encore cylindrique, chaque cartilage se produit circulairement tout autour de celle-ci, et non sous forme de deux moitiés, l'une droite et l'autre gauche, qui se réuniraient ensuite au-dessus et au-dessous de cet organe. Dès l'origine, il y a une épaisseur de cartilage presque aussi considérable du côté où sera la moelle épinière qu'à droite et à gauche ; mais en avant, cette épaisseur est beaucoup moindre et reste telle jusqu'à la fin. (La figure 16, pl. VII, permet de se rendre compte de ce fait d'après la situation du canal que traverse la notocorde, et qu'on voit vers la convexité de ces figures.)

De très-bonne heure, les côtés des corps vertébraux cartilagineux s'accroissent plus vite que les portions qui sont antérieures et postérieures par rapport à la notocorde (1).

---

(1) Selon Baer (*loc. cit.* 1828 et dans Burdach, *Physiologie*, trad. fr., Paris, 1838, t. III, p. 219), « pendant que les lames dorsales se rapprochent chacune l'une de l'autre par leurs bords supérieurs, on voit paraître dans leur intérieur les vertèbres, *chacune en deux pièces*. Ces vertèbres sont constituées comme la corde dorsale par des grains très-serrés, formant des taches entourées d'auréoles claires. Il n'existe là encore aucune trace d'une autre texture plus analogue à celle du cartilage. » D'après Rathke (*Ueber die Entwickelung des Schädels der Wirbelthiere. — Vierter Bericht ueber das Wissenschaftliche Seminar zu Kœnigsberg.* Kœnigsberg, 1839, in-4°), l'apparition du corps des vertèbres commence par un dépôt à droite et à gauche de la corde dorsale, formé d'un blastème partout uniforme, composé de grains grossiers. Puis il

Celle-ci étant plus transparente encore que le tissu cartilagineux, ou *vice versâ*, selon le mode d'éclairage adopté, il en résulte que les vertèbres, vues de dos ou de face, semblent au début divisées en deux moitiés distinctes, paraissant quadrilatères, séparées par la corde dorsale, tandis qu'en réalité il y a continuité de l'une avec l'autre, bien que ce soit encore seulement par une faible épaisseur de cartilage au niveau de cette dernière. C'est ce que montrent les coupes faites à dessein ou même les hasards de la préparation qui, en dissociant les premières petites masses des corps de vertèbres apparues et brisant la notocorde, font tourner vers l'œil de l'observateur les faces symphysaires des cartilages.

Les corps vertébraux sont les premiers cartilages qui appa-

---

croît et s'avance tant au-dessous qu'au-dessus de la corde, qu'il recouvre au bout de quelque temps; mais il augmente d'épaisseur des deux côtés surtout, de sorte qu'il se forme à droite et à gauche de celle-là un grand nombre de *petites plaques quadrilatères,* toutes séparées les unes des autres par des intervalles étroits, moins épais, plus transparents. Les premières apparaissent au milieu de l'embryon, à peu près où sera plus tard la poitrine, puis leur nombre s'accroît tant en avant qu'en arrière surtout. En croissant à la rencontre l'une de l'autre, ces petites plaques se soudent au-dessus et au-dessous de la corde dorsale et forment alors un anneau entourant cette dernière. — Depuis que ces descriptions ont été publiées, on a toujours pris pour la réalité les apparences physiques précédentes, qui résultent de la disposition anatomique des parties indiquées dans le texte, mais qui, prises pour ce qu'elles semblent être au premier coup d'œil, induisent en erreur. Le fait est que les cartilages apparaissent comme il va être dit plus loin, forment de prime abord des anneaux entourant la notocorde, mais réfractant la lumière bien moins fortement que celle-ci, qui prend ainsi l'aspect d'une bande claire, presque brillante; leur substance est dissimulée de la sorte pour l'œil, si on ne les examine pas sous toutes leurs faces successivement.



raissent dans l'économie. On peut suivre les phases de leur génération sur les vertèbres du dos en prenant de très-jeunes embryons de lapin et de cochon d'Inde. On le peut aussi sur les embryons plus âgés de ces mêmes animaux, et de rat, de vache, de truie, etc., en observant les vertèbres coccygiennes, depuis celles qui sont au début de leur apparition jusqu'à celles qui sont entièrement développées.

Cette génération consiste en une genèse simultanée de noyaux ovoïdes et d'une substance amorphe hyaline interposée. Par rapport à cette dernière, chaque noyau se trouve ainsi englobé ou inclus dans une cavité qu'elle limite et qu'elle remplit; chaque cavité représente un chondroplaste, dont le noyau est alors le seul contenu, plus tard constitué par une ou plusieurs cellules. Il n'est pas rare pourtant de trouver deux noyaux contigus dans une seule de ces cavités.

Ces noyaux sont un peu plus petits, plus granuleux et plus foncés que ceux du tissu embryoplastique ambiant, aussi les petites masses ou noyaux que forme le cartilage autour de la notocorde sont-ils moins transparents que ce tissu (1). L'observateur est en quelque sorte averti du début

(1) A l'époque où naissent les cartilages des corps vertébraux autour de la notocorde, il n'existe plus de *cellules embryonnaires* ou *de la tache embryonnaire,* appelées aussi par divers auteurs *cellules primitives, cellules primaires, cellules des feuillets animal et végétatif de l'*AREA GERMINATIVA (Bischoff, *Histoire du développement,* Paris, 1845, in-8°, trad. fr., p. 685, et Atlas, pl. VIII, fig. 49, B et C, p. 425). Dans beaucoup d'ouvrages, l'expression de *cellules blastodermiques* et de *cellules embryonnaires* désigne à la fois et sans distinction aucune : 1° les *cellules de la vésicule blastodermique*, dont : *a.* celles du *feuillet externe* vont bientôt devenir les cellules du *chorion* et les cellules pavimen-

de la genèse de chaque corps de vertèbres par l'apparition autour de la notocorde d'une petite masse foncée à contours diffus ; car, dans les premiers jours, les bords du cartilage sont pâles, dépourvus de périchondre, et par suite semblent mal limités.

Dans le principe, la substance fondamentale homogène du cartilage est molle, et se laisse écraser facilement jusqu'à dissociation et mise en liberté des noyaux qu'elle englobait. Mais peu à peu elle prend plus de consistance, et en même temps elle augmente de quantité, de sorte que les noyaux se trouvent plus écartés les uns des autres qu'au début, et le cartilage devient plus transparent. En même temps aussi les

---

teuses de l'*amnios* autour de la tache embryonnaire; *b.* celles qui sont sous-jacentes ou plus internes, qui vont constituer les *cellules de la vésicule ombilicale*, distinctes pourtant des précédentes, et l'une de l'autre dans les deux parois qu'elles forment ; 2° les cellules des feuillets de l'*area germinativa* ou *tache embryonnaire*, dites ici *cellules embryonnaires*. Ces dernières cellules sont déjà remplacées par les noyaux embryoplastiques, au moins dans les *lames dorsales* et *ventrales* et autour de la notocorde, où ces noyaux forment le tissu embryoplastique au sein duquel naissent les cartilages vertébraux, puis les premiers faisceaux musculaires, puis les cartilages des côtes, des clavicules et des membres. Ces noyaux embryoplastiques, bien que moins longs et généralement un peu plus grenus qu'ils ne le seront plus tard, lorsqu'au lieu d'être l'élément fondamental des parois du corps embryonnaire, ils seront devenus un élément accessoire de la plupart des tissus, ces noyaux sont cependant un peu plus gros et plus ovoïdes que ceux des cartilages naissants. Cette absence de cellules embryonnaires à l'époque et dans la région où naissent les premiers cartilages apparus, montre qu'on ne saurait admettre que le cartilage est formé par la soudure de cellules de cette espèce à l'aide d'une substance hyaline, comme beaucoup d'auteurs l'admettent encore depuis Schwann. (*Mikroskopische Untersuchungen*, etc., Berlin, 1838, in-8°, p. 114 et 115.)

cavités qu'elle limite, et qui se trouvaient remplies exactement par chaque noyau, deviennent irrégulièrement ovoïdes ou triangulaires ou mieux pyramidales. Elles grandissent, et par suite leur contour s'éloigne de celui du noyau; l'intervalle qui sépare ces deux surfaces se remplit d'une substance finement grenue représentant un corps de cellule par rapport au noyau central.

On constate facilement qu'après les corps vertébraux, de chaque côté d'eux et à un niveau un peu plus élevé que le leur, naissent de la même manière autant de paires de petites masses, plus foncées, mais devenant bientôt plus transparentes que les tissus voisins, acquérant alors l'aspect cartilagineux. Ces masses représentent le cartilage de chacun des groupes appendiculaires latéraux des vertèbres, ainsi que le montre leur évolution ultérieure, c'est-à-dire les apophyses articulaires et transverses de toutes les vertèbres, y compris les sacrées et les coccygiennes. Distinctes du corps vertébral correspondant, elles se soudent plus tard à lui par leur portion rétrécie la plus rapprochée de celui-là, portion qui forme le pédicule de l'anneau. Ce n'est qu'après cette soudure que de chacune de ces petites masses latérales s'élève la lame vertébrale correspondante; puis ce n'est qu'à la suite de la soudure bien plus tardive des deux lames l'une avec l'autre, derrière la moelle épinière, que se développe l'apophyse épineuse, dernière partie formée dans chaque vertèbre. Ainsi, au point de vue de sa génération, la vertèbre n'est pas essentiellement un anneau, ainsi qu'on le dit quelquefois; son passage à l'état d'anneau marque une des dernières phases de son évolution, et les lames ne naissent point de l'apophyse épineuse : c'est l'inverse qui a lieu. Les masses

latérales des vertèbres, nées comme cartilages distincts, puis soudées à la série des corps vertébraux correspondants formant l'axe squelettique, donnent naissance aux lames, à la manière d'une poussée qui en est une dépendance; puis, après la réunion de ces lames encore cartilagineuses, c'est leur portion soudée sur la ligne médiane qui s'allonge en apophyse épineuse.

Les cartilages d'ossification des côtes ne se produisent pas à la fois sur toute la longueur qu'ils doivent avoir, mais se développent du rachis vers le sternum. Ces cartilages apparaissent assez tard après les corps vertébraux correspondants, comme pièces distinctes de ceux-ci et des masses latérales ci-dessus, contiguës et non contiguës avec elles. Il m'a paru même, chez un embryon de chien, que les apophyses transverses (ou costiformes) lombaires, qui chez l'adulte sont soudées aux côtés du corps à la base du pédicule de l'arc vertébral, il m'a paru, dis-je, que ces apophyses naissent comme les côtes, par un cartilage distinct qui se soude bientôt au corps vertébral correspondant.

En raison du moins de transparence des cartilages au moment de leur naissance, par rapport à ce qu'ils seront plus tard, leur portion contiguë aux vertèbres et la plus anciennement formée est plus transparente que l'autre extrémité, qui est libre dans les tissus des parois du corps, du côté du sternum qu'elle n'atteint pas encore.

Sur les embryons humains longs de 24 millimètres du vertex au talon ou environ, et sur ceux des autres mammifères arrivés à des périodes correspondantes de leur évolution, on voit très-nettement dans l'épaisseur des parois thoraciques les côtes; elles sont claires, transparentes sous le



microscope dans leur portion postérieure déjà nettement cartilagineuse. Mais au delà elles sont presque opaques et représentées par un prolongement antérieur plus foncé que les tissus voisins, composé seulement de noyaux granuleux contigus, ou à peu près, entre lesquels à cette époque il n'existe que fort peu de substance fondamentale chyaline.

Lorsque plus tard on observe les cartilages naissant dans les membres de l'embryon, encore sous forme de moignon, on constate aussi : *a.* qu'ils apparaissent également par génération simultanée de petits noyaux foncés rapprochés les uns des autres (pl. VII, fig. 17), tenus à la fois réunis et écartés par une petite quantité de substance homogène très-molle à cette période ; *b.* que les derniers nés, comme les cartilages des phalanges ou du tarse et du carpe, par exemple, sont bien plus foncés (quoique ayant un contour moins net qu'ils ne l'auront plus tard) que les cartilages des membres nés avant eux ; *c.* que du reste ils deviennent plus transparents à mesure que la substance amorphe interposée aux noyaux augmente de consistance et de quantité, de manière à écarter ceux-ci les uns des autres ; à mesure aussi que les noyaux grossissent un peu et que la cavité qu'ils remplissent grandit, de manière que son contour s'écarte de celui du noyau inclus. Ces phénomènes sont encore les mêmes lors de la génération des cartilages et fibro-cartilages permanents de la trachée, de l'épiglotte, de l'oreille, de tous les cartilages de l'économie, en un mot.

Cette uniformité de phénomènes dans la génération des cartilages, depuis les premiers apparus jusqu'à une époque déjà avancée, c'est-à-dire jusqu'à une période où il n'existe certainement plus nulle part dans l'embryon de cellules

embryonnaires, est importante à noter. Il n'importe pas moins de signaler que lorsqu'on dissocie le cartilage naissant, ce sont des noyaux et non des cellules qu'on met en liberté. A mesure que la substance homogène qui leur est interposée, qui les tient à la fois réunis et écartés, durcit et augmente de quantité, on voit de mieux en mieux que chaque noyau remplit une cavité limitée par cette substance homogène dans laquelle elle est comme creusée directement; que ces cavités s'écartent de plus en plus les unes des autres à mesure que cette substance augmente de quantité. On voit en outre que c'est lorsque ces cavités deviennent plus grandes que le noyau qu'elles contiennent qu'il se produit autour du noyau une substance finement grenue, remplissant l'intervalle qui sépare celui-ci de la face interne de la cavité et représentant le corps d'une cellule dont le noyau précédent est le centre. Ce ne sont plus alors les noyaux seulement qui peuvent être isolés de la substance homogène fondamentale interposée aux cavités, mais ces cellules mêmes. A aucune époque, tant lors de l'apparition des cartilages encore mous, foncés, et à noyaux très-rapprochés, que plus tard, il n'est possible de séparer cette substance fondamentale en autant de cellules qu'il y a de noyaux. On n'isole des cellules que lorsque celles dont il vient d'être question se sont produites dans les chondroplastes à mesure que ceux-ci s'agrandissaient (1).

---

(1) Ni au début de la génération des premiers cartilages des corps vertébraux, ni lors de l'apparition de ceux qui se montrent plus tard, on ne peut voir les cartilages se formant par des cellules, qui naissant d'abord se rapprocheraient pour se souder directement ou par l'intermédiaire d'une substance intercellulaire; pas plus qu'on ne peut dissocier ces cartilages nouveaux en cellules

Une fois les corps vertébraux formés, en les séparant les uns des autres sur des embryons dont les tissus commencent à se ramollir, on peut en arracher la notocorde avec sa gaîne tant qu'ils sont encore entièrement cartilagineux, tant qu'il ne s'y est produit aucun point d'ossification. Un canal central se voit facilement au centre du corps de la vertèbre, plus près de sa face antérieure que de sa face postérieure (pl. VII, fig. 16 et 17 *a*.). Il a chez l'homme 5 centièmes de millimètre de large; il est cylindrique, nettement limité par une zone de substance fondamentale du cartilage qui, sur une épaisseur de 15 millièmes de millimètre, est entièrement homogène (fig. 17 *b*.), hyaline, dépourvue de chondroplastes, et ceux-ci, ainsi que les noyaux qu'ils renferment, sont plus petits près d'elle que dans le reste de l'étendue du corps vertébral.

Cette disposition s'observe déjà sur les cartilages des corps vertébraux d'embryons bien plus jeunes, et cela dès l'époque où l'on peut isoler ces cartilages des tissus mous ambiants.

---

dont le corps serait formé par la substance fondamentale du cartilage, en totalité ou en partie, et auraient pour centre les noyaux signalés ci-dessus. Il n'est donc pas exact de dire avec Schwann et ses successeurs que le cartilage se développerait de cellules qui dans leur état primaire ne différeraient en rien des autres cellules primaires et qu'on ne saurait distinguer de celles qui, disposées autour d'elles, doivent servir à la formation d'autres tissus. Ce n'est pas non plus par rapprochement des unes des autres de ces cellules, ni par leur réunion au moyen d'une substance hyaline intercellulaire, que se forme le cartilage, substance d'abord si molle ue les cellules tomberaient par le seul fait de la préparation ou d'une légère pression. Aucun des faits relatifs à la génération des premiers cartilages ne rentre dans ceux dits de génération endogène ni de prolification des cellules. C'est, comme on le voit, autrement que ne l'indiquent ces hypothèses qu'a lieu la genèse du tissu cartilagineux.

L'existence de cette épaisseur relativement considérable de substance fondamentale hyaline du cartilage, dépourvue de cavités, et par suite des noyaux qui les comblent à cet âge, prouve d'une manière nette qu'on ne saurait considérer cette matière interposée aux chondroplastes (ou mieux dans laquelle ceux-ci se trouvent être creusés) comme sécrétée par les cellules ; cellules que du reste ils ne contiennent pas encore.

Dès l'époque où les embryons mammifères ont de 24 à 26 millimètres de long, ces noyaux, situés dans les chondroplastes, sans être sphériques, ont pour la plupart déjà grossi assez pour être plus larges et plus arrondis que les noyaux embryoplastiques du tissu qui entoure les vertèbres. Ces derniers sont plus étroits, de même longueur, ou ordinairement plus longs que les premiers.

Dès cette époque aussi chaque cartilage commence à s'entourer d'une mince couche de corps fibro-plastiques fusiformes, enchevêtrés sur deux ou trois rangs, indiquant le début de la formation du périchondre, corps ne dérivant pas plus des éléments du cartilage que ceux-ci ne dérivent des corps fusiformes. C'est vers la même époque également qu'on commence à distinguer les disques intervertébraux, comme composés par un tissu différent de ceux qui les entourent. Ils sont formés aussi, comme le périchondre naissant, par de courts corps fibro-plastiques presque tous enchevêtrés dans le sens de la longueur du rachis, mélangés de beaucoup de noyaux embryoplastiques et de matière amorphe ; aussi est-il facile de les dissocier par la simple pression.

Malgré l'adhérence du tissu des disques au cartilage, adhérence qui croît de plus en plus, l'examen de ces organes à

l'aide d'un grossissement de 300 diamètres environ, montre qu'il y a une différence très-marquée entre ces deux tissus. Cette différence devient plus tranchée encore vers l'époque où la notocorde se dilate au centre de chaque disque, parce qu'alors les chondroplastes sont déjà écartés les uns des autres par un intervalle à peu près égal à leur propre diamètre. Ils sont aussi devenus assez grands pour n'être plus remplis par le noyau qu'ils contiennent. Ces particularités permettent en effet de voir plus facilement la limite nette du cartilage, qui se distingue bien de celle du disque, malgré leur contiguïté et leur adhérence moléculaire sans interposition de périoste.

Tant que les renflements de la notocorde au centre des disques qu'elle traverse ne sont pas encore prononcés, on parvient parfois à en arracher la notocorde et sa gaîne en même temps qu'on l'arrache des cartilages contigus, ou à l'isoler par dissociation du tissu fibreux naissant et encore très-mou (1).

---

(1) Les faits précédents prouvent nettement qu'il n'est pas exact de dire, avec quelques auteurs, que les corps vertébraux proviennent d'une chondrification de la gaîne de la notocorde, d'une transformation de la corde dorsale ou de son enveloppe (V. R. Owen, *Ostéologie comparée,* Paris, 1855, in-8°, p. 137) en cartilage, et que les disques résultent de son passage à l'état fibreux ; qu'ils résultent de son passage à l'état de cartilage ici, de tissu fibreux au-dessous, et ainsi de suite alternativement, dans toute la longueur de la notocorde. Ces organes se produisent chacun à des époques et d'une manière différentes autour de cette enveloppe, mais celle-ci ne prend aucune part à ce phénomène. Les opinions précédentes ont pourtant été assez généralement admises depuis que Rathke s'est exprimé ainsi qu'il suit à ce sujet (Rathke dans Burdach, *Physiologie,* trad. fr., Paris, 1838, in-8°, t. III, p. 139) : « *De cette gaîne* (de la corde dor-

§ II. — *Sur le mode d'apparition du cartilage d'ossification de l'atlas et de l'axis en particulier.*

Lorsqu'on suit le mode d'apparition de l'atlas et du corps de l'axis en particulier sur de très-jeunes embryons mammifères, on observe les faits suivants.

C'est par deux petites masses cartilagineuses superposées, distinctes bien que très-rapprochées, que naît le corps de l'axis, à une époque où les embryons de cochon d'Inde, par exemple, ont une longueur de 10 à 11 millimètres. Celle qui est en arrière a la forme de la troisième vertèbre cervicale,

---

sale chez les poissons) *poussent par paires*, entre la tête et le bout de la queue, un très-grand nombre de petites tiges dirigées vers le haut qui embrassent la moelle épinière sur les côtés. » (Nous avons vu que c'est le corps vertébral qui naît le premier chez les mammifères et que les arcs, ainsi que les côtes et les apophyses transverses, ne sont pas des prolongements des corps, mais naissent comme points cartilagineux distincts qui se soudent ensuite aux corps vertébraux correspondants, à l'exception des côtes toutefois, quant à la soudure.) « Situées à l'intérieur des lames dorsales, elles ne consistent d'abord qu'en une gelée dense, mais plus tard se convertissent en cartilage et enfin s'ossifient. Ce sont les parties latérales des arcs supérieurs des vertèbres.... Il s'effectue également sur la gaîne de la corde vertébrale elle-même un dépôt de gelée épaisse qui bientôt se cartilaginifie, puis s'ossifie. » (Page 140.) Burdach parlant du même sujet dit aussi (*ibid.*, p. 414) : « Du reste, les corps vertébraux se produisent sous la forme d'anneaux qui croissent tout autour de la corde spinale, *tandis que ce qui reste de l'enveloppe de cette dernière remplit alors l'office de masse ligamenteuse.* » Les faits exposés dans les pages qui précèdent et dans celles qui suivent prouvent nettement aussi que ni la notocorde ni son enveloppe ne jouent un rôle dans la genèse de ces cartilages, non plus que dans la génération des cartilages des membres.

mais est un peu moins haute; l'autre, qui est au-devant, est plus étroite dès son apparition, plus longue, conique, à sommet mousse, à base presque aussi large que l'autre pièce ; elle est traversée dans toute sa longueur par la notocorde qui lui constitue un axe réel, facile à voir, parce que cette pièce est plus mince que les autres corps de vertèbres. Elle est contiguë à la première, mais la moindre pression l'en écarte. Un sillon assez profond, au niveau de leurs surfaces de contact, permet pendant longtemps de les distinguer facilement. Sur la ligne médiane, la base de la pièce antérieure ou *odontoïde* est légèrement concave, d'où résulte que là existe (pl. II, fig. 4, *f*) un intervalle réel entre elle et le corps vertébral qu'elle touche par ses côtés. Cet intervalle est comblé par un tissu plus foncé que le cartilage et foncé comme celui qui est autour et entre les corps vertébraux. Cette concavité est plus grande chez l'homme et les rongeurs que dans les autres mammifères, parce que la face supérieure du corps vertébral contigu est également concave à ce niveau, au lieu d'être plane, comme sur les ruminants, etc.

Ainsi l'axis naît par deux pièces cartilagineuses distinctes, séparées et séparables : l'une représente le corps de la deuxième vertèbre cervicale et dans l'origine est semblable à celui de la troisième, à peu de chose près ; l'autre, conoïde, est l'apophyse odontoïde, ou mieux elle représente à proprement parler, ainsi que nous le verrons, le corps de l'atlas.

Ces deux pièces s'unissent ensemble pendant qu'elles sont encore cartilagineuses. Chez l'homme, ce phénomène a lieu à l'époque où les cartilages des masses latérales des vertèbres se soudent au corps correspondant ; l'embryon humain offre alors une longueur de 14 à 15 millimètres environ. Dans le

mouton, le lapin, le cochon d'Inde et le rat, c'est un peu plus tard, car c'est lorsque leurs embryons ont de 16 à 18 millimètres de long que cette soudure a lieu. C'est de tous ces animaux, chez les rongeurs, qu'elle est le plus tardive, ainsi qu'on le voit. La base de la pièce odontoïde se trouve de la sorte comme emboîtée de chaque côté par ces cartilages apophysaires latéraux. La soudure de ces pièces s'accomplit de leur circonférence vers le centre. Ici, elle n'a lieu entièrement qu'à l'époque où apparaît le premier point d'ossification de l'axis dans le cartilage qui représente son corps proprement dit. Jusque-là persiste l'espace indiqué plus haut, entre ce dernier cartilage et la base de la pièce odontoïde; aussi, lorsque la notocorde se dilate au centre de chaque disque intervertébral, elle offre également une dilatation dans ce petit espace (pl. III, fig. 6 et 7, *d*), qui alors est encore rempli par quelques noyaux embryoplastiques et même par des corps fusiformes qui représentent un véritable rudiment de disque intervertébral. Ce renflement est ovoïde, beaucoup plus petit que celui des autres disques, et disparaît lorsque se complète la soudure des deux pièces, c'est-à-dire lorsque le premier point osseux de l'axis se montre. Jusqu'à ce moment aussi, mais non plus tard, un sillon extérieur existe et s'aperçoit facilement au pourtour de la base de la pièce odontoïde, au niveau de son plan de jonction avec le corps proprement dit de l'axis (fig. 6, *d*).

Quant au canal central qui traverse l'apophyse odontoïde cartilagineuse dans toute sa longueur, il est placé plus près de sa face antérieure que de sa face postérieure, comme dans les corps vertébraux proprement dits. Chez l'homme, il en

reste des traces très-manifestes jusqu'à la deuxième année environ, sur la portion encore cartilagineuse de l'odontoïde.

On peut s'assurer de ce fait par des coupes transversales de cette apophyse qui montrent une petite tache bleuâtre, ou opaline, ou parfois un peu rougeâtre, selon l'état des sujets, à la place occupée par la notocorde. D'abord, le canal est encore rempli par cet organe, mais un peu avant la naissance, le cordon cellulaire diminue de volume; plus tard le canal qui le contenait est complétement oblitéré par de la substance fondamentale du cartilage sans chondroplastes, tantôt striée, fibroïde et plus souvent granuleuse seulement et moins transparente que dans le reste du cartilage.

Cependant alors, la continuité de la notocorde est interrompue entre le sommet de l'apophyse odontoïde et l'apophyse basilaire, qui est déjà ossifiée dès le quatrième mois de la vie intra-utérine.

Cette oblitération et l'interruption de la notocorde ont lieu en effet au commencement du troisième mois ou à la fin du deuxième de la via intra-utérine chez l'homme, époque à laquelle se développent déjà les ligaments odontoïdiens entre le sommet de l'apophyse et l'intervalle des condyles occipitaux, c'est-à-dire à la partie inférieure du trou occipital au point où la notocorde sortait de l'axe de l'apophyse basilaire.

La pièce cartilagineuse odontoïdienne existe seule au niveau du siége qui sera bientôt occupé par l'atlas. Mais à l'époque où apparaissent de chaque côté du cartilage des corps vertébraux les pièces qui porteront les apophyses transverses et formeront chaque moitié de l'arc correspondant, on voit naître aussi le cartilage de chacune des masses latérales

de l'atlas au niveau de l'apophyse odontoïde; elles sont plus éloignées de celle-ci que les pièces correspondantes par rapport au corps des autres vertèbres. Elles offrent chacune un prolongement qui se dirige au-dessous de l'apophyse odontoïde et qui se soude avec son congénère de manière à constituer l'arc antérieur ou inférieur de l'atlas vers le temps même où les masses latérales apophysaires des autres vertèbres se soudent au corps (1).

Ainsi, le cartilage de l'atlas naît de la même manière que les masses latérales des vertèbres, et son ossification suit une marche semblable à celle de ces parties des vertèbres.

---

(1) Cette réunion de ces deux pièces en arc antérieur de l'atlas n'a même pas lieu chez tous les mammifères; chez quelques marsupiaux, par exemple, tels que le *Kanguroo* (*Macropus major*, Shaw), ce qu'on nomme *corps de l'atlas* manque; l'arc antérieur reste ouvert en avant, bien que l'*apophyse odontoïde* bien développée et soudée au corps de l'axis s'avance jusqu'à ce niveau. Déjà à cet égard, et en ce qui regarde l'*apophyse odontoïde*, considérée comme le *corps de l'atlas* qui se soude à celui de l'axis au lieu de s'unir aux masses apophysaires latérales correspondantes, R. Owen s'était exprimé ainsi : le *centrum*, ou partie centrale essentielle du corps des vertèbres, « semble avoir disparu comme partie ossifiée dans l'atlas de quelques marsupiaux, le Wombat par exemple; mais ce qu'on appelle le corps de l'atlas dans l'homme et les mammifères, n'est rien de plus qu'une hypo-apophyse ou une moitié de sa partie corticale; le vrai centrum de l'atlas se soude avec le corps de l'axis et forme son apophyse odontoïde dans les marsupiaux comme dans tous les autres mammifères. » (R. Owen, *Principes d'ostéologie comparée*. Paris, 1855, in-8°, p. 203.) Cette soudure de l'odontoïde à l'axis n'a pas lieu chez les crocodiles. Il importe, toutefois, de rappeler que : 1° les masses latérales des vertèbres comprenant les apophyses transverses et articulaires, puis plus tard les lames de l'arc et l'apophyse épineuse, naissent chez l'embryon par un seul et même cartilage, dont la base, élargie chez quelques animaux, entoure totalement ou en partie le cartilage central ou corps ; 2° que

La forme et les dimensions relatives des masses latérales apophysaires cartilagineuses et du corps de l'atlas, de l'axis, ainsi que des autres vertèbres, prennent de très-bonne heure le type qu'elles conservent même après leur ossification. Les saillies des apophyses articulaires et transverses, les trous vertébraux se forment dès l'époque de la soudure des masses latérales du corps.

Dès que pour l'atlas elles sont réunies sur la ligne médiane en arc antérieur, l'étroitesse de cette partie tranche sur la hauteur du corps de l'axis considéré seul ou soudé à la pièce *odontoïde*. Ces particularités sont aussi frappantes dans l'homme que chez les ruminants et les rongeurs. Il en est de même de la largeur des masses latérales portant les tubercules apophysaires et le cartilage des lames de l'arc ainsi que de celles-ci, faits frappants lorsqu'on vient à comparer ces pièces à l'état cartilagineux embryonnaire avec l'os adulte.

---

l'embryogénie montre encore que l'arc antérieur de l'atlas n'est pas une portion corticale du corps réel (qui est l'apophyse odontoïde), mais une dépendance de ses masses latérales entourant ce dernier sans se souder à lui ; 3° que par conséquent c'est contre ces masses latérales soudées en avant que frotte et s'articule la portion centrale ou axoïdienne de l'atlas. Par suite, il n'est pas absolument exact de dire avec Owen que : « ce qu'on appelle *corps de l'atlas* dans les vertèbres supérieurs n'est autre chose que l'homologue des hypoapophyses ou *os vertébraux en coin* » et qu'*il ne représente que la partie corticale du vrai corps* (*ibid.*, p. 196). Mais il est dans le vrai lorsqu'il ajoute : « l'*apophyse* odontoïde est la partie centrale de l'atlas. Cela ne peut pas être l'épiphyse antérieure articulaire de la seconde vertèbre très-développée, puisque cette dernière est représentée par un centre distinct d'ossification entre l'apophyse odontoïde et le corps de cette vertèbre, comme on le voit bien dans le jeune poulain et les fœtus des grands mammifères. » (Page 196.)

En résumé, l'étude du développement de la colonne vertébrale démontre que l'arc antérieur de l'atlas n'est qu'une provenance de ses apophyses transverses et articulaires, qui restent indépendantes du corps de cette vertèbre; que, d'autre part, l'apophyse odontoïde et la base qui la supporte représentent le corps même de l'atlas, qui reste indépendant des autres parties de cette vertèbre, pour se souder à la face supérieure du corps de l'axis. Le cartilage primitif du corps de chaque vertèbre et celui de l'apophyse basilaire naissent autour de la corde dorsale comme centre, de telle sorte que jusqu'à l'époque de l'ossification des corps vertébraux (qui commence par un seul et unique point central), toutes les vertèbres sont traversées de part en part par la corde dorsale, dans toute la longueur du rachis, comme un fil traverse les grains d'un chapelet. De plus, un peu avant l'apparition du point central d'ossification, la notocorde se renfle au centre des disques intervertébraux pour y produire la cavité intervertébrale à contenu gélatiniforme. Or, dans l'examen de ces divers phénomènes, on peut constater que l'apophyse odontoïde est traversée dans toute sa longueur par la corde dorsale comme les corps vertébraux, tandis que le cartilage de l'arc antérieur de l'atlas, déjà formé à cette époque, reste libre sans être traversé par la notocorde, comme le sont au contraire les corps des vertèbres.

Quant à ce qu'on appelle le corps de l'axis, considéré individuellement, on peut voir qu'il naît par deux noyaux ou centres cartilagineux distincts, se produisant à une petite distance l'un de l'autre autour de la corde dorsale comme axe. L'un de ces corps naît exactement entre l'atlas et la troisième cervicale; l'autre naît immédiatement au-dessus, der-

rière l'arc antérieur de l'atlas, si l'on peut ainsi dire, car il naît avant cet arc. Ce dernier noyau cartilagineux est surmonté d'un prolongement qui, dès son apparition, offre la forme de l'apophyse odontoïde chez les divers mammifères. Ce cartilage se soude de très-bonne heure avec celui qui représente le corps proprement dit de l'axis. La soudure s'opère d'abord sur ses côtés, légèrement prolongés en forme d'aile. Cette soudure n'est pas encore achevée chez les embryons humains longs de 18 et 20 millimètres. Avant que l'union de ces cartilages soit complète sur la ligne médiane, la corde dorsale produit entre le cartilage de l'apophyse odontoïde et le corps proprement dit de l'axis, placé au-dessous, une légère dilatation analogue aux dilatations intervertébrales. Cette dilatation disparaît seulement à l'époque où se montre un point d'ossification dans la portion du cartilage qui représente le corps proprement dit de l'axis. Il y a ainsi deux points d'ossification primitifs pour le centre de l'axis, parce qu'il représente en réalité ce dernier, plus celui de l'atlas, tandis qu'il n'y en a qu'un seul pour toutes les autres vertèbres. On sait que ce n'est que plus tard après la naissance qu'a lieu la soudure osseuse complète de ces deux parties, qui restent longtemps séparées par un cartilage non ossifié. (Ch. Robin, dans Echeverria, *Sur la nature des affections dites tubercules des vertèbres*. Paris, 1860, in-4°, p. 56, 57.)

J'ai indiqué plus haut l'époque et le mode de soudure du cartilage de l'axis à celui du corps de l'atlas sous forme d'apophyse odontoïde, consécutivement à sa génération comme pièce vertébrale, distincte et centrale, génération qui a lieu en même temps et de la même manière que celle du corps de

l'axis et des autres vertèbres. Il importe maintenant de signaler quelques particularités relatives au mode d'ossification de cette vertèbre et de l'atlas comparativement à leurs homologues.

Pour rendre facilement saisissables les faits qui suivent et ceux qu'a signalés R. Owen, il n'est peut-être pas inutile de rappeler que dans le but de donner une explication de la présence de l'apophyse odontoïde sur la face articulaire supérieure ou antérieure de l'axis, quelques auteurs l'avaient considérée comme une provenance, une sorte d'hypertrophie, d'une *lame épiphysaire antérieure* ou *supérieure* axoïdienne, analogue à l'épiphyse de cet ordre qui, sous forme d'anneau ou de lame plus ou moins complète et irrégulière, achève la production des corps vertébraux osseux à partir de la troisième cervicale. Bergmann paraît être le premier qui se soit élevé contre cette vue et qui ait regardé l'apophyse odontoïde (qu'il nomme *os odontoideum*) comme représentant le corps de l'atlas. (Voy. Carl Bergmann, *Einige Beobachtungen und Reflexionen über die Skelettsysteme der Wirbelthiere, deren Begrenzung und Plan.* Göttinger Studien, 1845; Gottingen, 1846, gr. in-8°, p. 54.)

CHAPITRE II.

Sur l'ossification des vertèbres.

---

§ I. — *Sur les premiers points d'ossification des cartilages des vertèbres en général, de l'atlas et de l'axis en particulier.*

L'ossification du cartilage du corps des vertèbres débute par celle du corps des dernières dorsales et de là se produit dans les vertèbres placées en avant et en arrière de celles-ci d'une manière un peu différente d'une espèce animale à l'autre. Chez les rongeurs, par exemple, elle atteint la dernière lombaire à peu près en même temps que la première dorsale, tandis que sur les ruminants l'axis commence à s'ossifier en même temps que la dernière lombaire.

L'ossification débute dans les masses ou lames latérales avant de se montrer dans le corps. Chez quelques animaux comme sur l'homme, il a déjà envahi tout leur cartilage jusqu'à la jonction aux côtés du corps vertébral cartilagineux, avant que se montre toute trace d'ossification dans celui-ci, sur lequel il n'empiète pas. On sait aussi que cette

dernière particularité s'observe sur l'axis comme sur les autres vertèbres, mais non sur l'atlas.

C'est son arc postérieur qui s'ossifie le premier, puis l'ossification empiète graduellement sur ses masses latérales à compter du cinquième au sixième mois de la vie intra-utérine, masses qui ne sont encore qu'à moitié envahies ou tout au plus au moment de la naissance. Cet envahissement s'arrête un peu avant l'extrémité antérieure de la facette articulaire supérieure correspondante. L'arc antérieur reste assez longtemps cartilagineux, puis dans le milieu de la première année et quelquefois dès le quatrième mois, apparaissent pour chaque moitié de cet arc, au moins un et assez souvent deux points osseux. Ils sont encore séparés les uns des autres et des masses latérales par de minces bandes cartilagineuses pendant la troisième année (1).

Le point osseux des corps des vertèbres apparaît au centre même du cartilage, ou mieux un peu en arrière de ce centre, plus près de la face postérieure du corps que de sa face antérieure. Il est un peu en arrière de la notocorde; le canal

(1) « C'est du cinquième au septième mois après la naissance que j'ai aperçu, sur le corps de cette vertèbre (l'atlas), les premières molécules osseuses. » (Serres, *Observations sur le développement centripète de la colonne vertébrale*, dans *Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences de Paris*, 1861, in-4°, t. LIII, p. 364.) « ... Il se forme alors deux pièces distinctes, l'une à droite et l'autre à gauche, séparées par un cartilage intermédiaire. Ces pièces ont, à la fin de la première année, 5 millimètres de diamètre dans tous les sens; au dix-huitième et au vingtième mois, leur diamètre transversal est de 1 centimètre, et leur diamètre perpendiculaire de 7 millimètres. A la deuxième année, le cartilage intermédiaire est quelquefois très-sensible et ne disparaît que

se rétrécit en s'aplatissant, tandis que les chondroplastes qui l'avoisinent et sont symétriquement rangés autour d'elle s'agrandissent beaucoup et s'arrondissent comme ceux entre lesquels a lieu déjà la production des granules phosphatiques. Ces dispositions font qu'à la loupe et même à l'œil nu, la place de la notocorde se voit sous forme d'une petite tache opaline au-devant de celle que produit le point osseux à son début (pl. VII, fig. 19, *a*).

Quoi qu'il en soit, il est toujours facile de voir que ce point osseux naît assez loin du périchondre qui, plus tard, doit devenir périoste, et séparé de lui par une épaisseur très-notable de tissu cartilagineux ; le périoste ne joue donc ici aucun rôle dans la génération de l'os.

A mesure que le point osseux grandit, il atteint et dépasse la notocorde, qui disparaît en cet endroit et dont la continuité se trouve interrompue de la sorte à ce niveau. Il s'élargit rapidement en éventail, en avant plus qu'en arrière, où il avait débuté ; il devient ainsi parfois plus long que large d'avant en arrière, et dans ce cas semble globuleux s'il est vu de face ; sur d'autre sujets, il est plus large transversalement et paraît alors ovoïde en travers. Dans ces conditions, la

dans le courant de la troisième, et alors seulement on trouve le corps de l'atlas formé d'une pièce unique; jusque-là il était double. » (Serres, *ibid.*, p. 364.) Les faits que je décris ci-dessus, d'après des pièces que j'ai sous les yeux, en corrigeant ces épreuves, concordent au fond avec ceux observés par M. Serres et d'autres anatomistes (Cruveilhier, etc.). Je n'ai pas rencontré de point osseux médian dans l'arc antérieur de l'atlas, tel que celui que figurent et décrivent MM. Rambaud et Renault dans leur bel ouvrage *Sur l'origine et le développement des os*. Paris, 1864, in-8°, p. 89, et atlas, pl. 5, fig. 5 à 10.

moindre pression le brise vers son milieu et le fait sembler double. Aussitôt après l'apparition du point osseux, un ou deux canaux vasculaires se creusent à son niveau dans le cartilage en progressant de sa face postérieure vers son centre. Souvent on trouve symétriquement de chaque côté de la notocorde et un peu en avant d'elle une subdivision de ces canaux parallèles à celle-là dans les portions des cartilages non encore ossifiés au-dessus et au-dessous du point osseux; mais l'ossification ne s'étend pas de préférence le long de ces conduits vasculaires, comme on pourrait le croire, et ce n'est que lorsque le point osseux a un diamètre de 1 millimètre et plus qu'il atteint et englobe ces conduits. Jusque-là il reste sans vaisseaux (pl. VII et VIII, fig. 19 à 30, *c*).

Le point osseux du corps des vertèbres s'annonce à l'œil nu par l'apparition d'une tache à contour ovalaire, d'aspect grisâtre et grenu; elle résulte de la production de granules phosphatiques entre les chondroplastes de ce centre. En examinant le corps vertébral le plus voisin de celui qui offre cet état de développement, on voit qu'il s'est produit déjà un point tout à fait opaque sous le microscope, et gris jaunâtre à la lumière réfléchie.

En grandissant, ce point osseux central ne cesse pas de rester unique, et, pendant toute la durée de son développement ultérieur, il ne devient jamais double.

Vers quatre ans et demi à cinq ans, il existe encore une mince couche cartilagineuse du corps vertébral cartilagineux qui n'est pas ossifiée, et qui sépare son point osseux très-agrandi des masses ou lames latérales ossifiées qui empiètent un peu sur lui de chaque côté.

Axis. — Le point osseux du corps proprement dit de l'axis apparaît comme celui des autres vertèbres, toujours simple, un peu allongé en travers, mais non point double, comme l'admettent quelques auteurs, soit spécialement pour cette portion de l'axis, soit pour toutes les vertèbres en général. C'est à trois mois et demi ou peu après qu'il débute, et non dans le sixième mois, comme le disent beaucoup d'anatomistes. On peut suivre la notocorde sous forme d'un mince filament grisâtre, tant au-dessous de lui qu'au-dessus, dans toute la longueur du cartilage de son corps et de l'apophyse odontoïde. Le renflement grisâtre, globuleux, que présente ce filament au niveau de la jonction des cartilages axoïdien et odontoïdien est très-marqué ; il est entouré d'une petite plaque fibreuse déjà mentionnée plus haut, qui ne s'étend pas jusqu'à la surface extérieure de la base de l'apophyse odontoïde, dont le tissu est déjà soudé circulairement à celui du corps proprement dit de l'axis. Le cartilage du corps de l'axis est déjà vasculaire lorsque débute son ossification, tandis que les autres vertèbres ne le deviennent que postérieurement à ce début.

A cinq mois et demi, et quelquefois à cinq mois et une semaine, se montre au centre de l'apophyse odontoïde la tache qui annonce le début de son point osseux propre, représentant en réalité le point osseux du corps de l'atlas. Alors seulement disparaît le renflement de la notocorde indiqué plus haut, qui se trouve remplacé par une petite masse fibreuse ou fibro-cartilagineuse transversale, au niveau du centre de la jonction du corps de l'axis et de l'apophyse odontoïde.

Le point d'ossification odontoïdien se produit un peu en

arrière de la notocorde, absolument comme pour les autres corps vertébraux. Il est simple et n'est double ni au début ni plus tard, comme l'ont admis quelques auteurs, soit pour toutes les vertèbres, soit spécialement pour le corps de l'axis et pour l'apophyse odontoïde.

Mais à son début ce point osseux de l'apophyse odontoïde est manifestement bilobé en haut et en avant seulement. Il est placé plus près de la face antérieure de celle-ci que de sa face postérieure. Il laisse ainsi, de part et d'autre, une portion de cartilage non ossifiée bien plus considérable en avant qu'en arrière jusqu'au milieu de la première année et au delà. Il est bilobé aussi à son sommet, et chacun de ces lobes s'avance en quelque sorte de chaque côté du plan médian dans le cartilage non encore ossifié sur une hauteur de $\frac{1}{2}$ millimètre environ à cette époque. Après la naissance, le sillon qui s'enfonce entre les deux lobes atteint jusqu'à 2 millimètres de profondeur au sommet de la portion osseuse de l'odontoïde. (MM. Rambaud et Renaud ont bien vu cette disposition, *loc. cit.*, pl. 5.) Là les coupes transversales minces de l'apophyse montrent ainsi d'abord deux tranches osseuses séparées par une bande cartilagineuse médiane, et plus bas un seul point osseux bilobé en avant et en arrière.

Chez le chien, où le point osseux de l'odontoïde apparaît avant que les poils cutanés soient sortis de leurs follicules, il est également unique, allongé transversalement, c'est-à-dire lenticulaire, ainsi que cela est manifeste aussi sur les points osseux des vertèbres coccygiennes. Mais il est unique, comme pour toutes les autres vertèbres, et n'est pas bilobé en avant et en haut comme sur l'homme.

Il existe alors deux points osseux dans le cartilage du corps de l'axis considéré comme un tout, l'un axoïdien proprement dit, l'autre odontoïdien, ou atloïdien en réalité. Le premier, primitivement un peu en retard dans son évolution par rapport aux autres vertèbres cervicales, est aussi gros qu'elles, et souvent plus gros dès l'époque de la naissance. Alors aussi la portion déjà osseuse de l'apophyse odontoïde est aussi volumineuse, et bientôt plus, que le point osseux du corps de l'axis. Le sommet de cette apophyse reste cartilagineux jusqu'à la sixième année, sans jamais présenter un deuxième point osseux chez l'homme, malgré son volume considérable vers la deuxième année, par exemple, relativement à la portion déjà ossifiée. C'est par empiétement successif de celle-ci sur la partie cartilagineuse que s'achève l'évolution osseuse de cette portion atloïdienne de l'axis, sans qu'il se produise un deuxième point d'ossification, pas plus qu'il ne s'en produit deux dans quelque centre cartilagineux des vertèbres que ce soit.

Jusqu'à la sixième et à la septième année, une bande fibro-cartilagineuse au centre, cartilagineuse dans le reste de son étendue, de moins en moins épaisse, persiste entre le corps de l'axis proprement dit et l'odontoïde. Cette séparation cartilagineuse est complète, c'est-à-dire s'étend transversalement jusqu'au périoste d'avant en arrière. Sur les côtés, elle est bifurquée sous un angle de 45 degrés environ, et sépare ainsi des lames ou masses latérales déjà osseuses de l'axis, le corps de celui-ci en bas et l'odontoïde en haut ; car ces lames ou masses sont comme légèrement enclavées entre ces deux os au niveau de leur jonction. Cette bande cartilagineuse horizontale ainsi bifurquée de chaque côté entre les trois

portions osseuses qu'elle sépare (1° corps de l'axis, 2° odontoïde et 3° masses ou lames latérales), est encore épaisse à l'époque de la naissance, mais elle s'amincit de plus en plus à mesure que la substance des parties osseuses ci-dessus empiète sur elle ; toutefois il en reste encore vers la sixième année. Dans la cinquième année, la soudure des lames ou masses latérales avec l'axis en bas, avec la base de l'odontoïde en haut, est déjà accomplie du côté du périoste, mais non dans la profondeur.

Au centre, entre les deux os précédents, cette bande cartilagineuse blanche ou bleuâtre reste encore épaisse de 1 à 3 millimètres et ne s'efface que vers la septième année, et alors la soudure est complète. A partir de la deuxième année, cette bande cartilagineuse devient d'un blanc mat sur les os secs ; vers l'âge de quatre ou cinq ans, elle prend un aspect calcaire plus blanc et plus compacte que la substance osseuse voisine. Mais l'examen de sa structure montre qu'il n'y a pas là de point osseux interposé à l'axis et à l'odontoïde, qu'elle est formée par du cartilage d'ossification à chondroplastes étroits, allongés ; seulement ce cartilage est parsemé de concrétions calcaires mamelonnées, irrégulières, larges de 1 à 6 centièmes de millimètre environ, isolées ou réunies en amas formant de petits grains apercevables à l'œil nu.

§ II. — *Sur la génération de l'os dans le cartilage du corps des vertèbres.*

Nous venons de voir que le point osseux de chaque ver-



tèbre naît au centre du cartilage vertébral, un peu en arrière de la notocorde. Dès son origine, sa forme est un peu différente d'un groupe de vertèbres à l'autre, et ces différences vont en se prononçant davantage avant le temps. Tout en conservant un fond commun de configuration, sensible surtout entre les vertèbres dorsales et les vertèbres lombaires, ces phases d'ossification ont besoin d'être étudiées sur les vertèbres de chaque groupe; car les points osseux de celles du cou et du sacrum, bien que débutant après les autres, ne passent pas exactement par les mêmes formes. En attendant que je publie la description et les figures de ces états successifs pour chaque genre de vertèbres, on pourra prendre une idée de leurs analogies et de leurs différences sur les dessins reproduits ici (pl. VII et VIII, fig. 19 à 50).

D'une manière générale, on peut dire qu'apparu en arrière de la notocorde, le point d'ossification s'avance en s'élargissant du côté de celle-ci, qu'il entoure bientôt en prenant auparavant une figure cordiforme (pl. VII, fig. 19, *b*). Ce n'est que lorsque la notocorde est complétement circonscrite en avant aussi bien qu'en arrière qu'elle disparaît tout à fait ainsi que son canal; en sorte que le point osseux est pendant quelques jours réellement annulaire. Aussi, vu par l'une des faces antérieure ou postérieure des vertèbres, il est plus transparent au milieu que sur les côtés, en raison de la présence de la notocorde, et il paraît ainsi bilobé ou formé de deux moitiés latérales à peine réunies sur la ligne médiane, ce qui n'est pas. A compter du moment où il est annulaire jusqu'à ce que le cartilage du corps vertébral soit presque entièrement osseux, le point d'ossification demeure plus large que haut, plus mince au niveau de la notocorde que

dans le reste de son étendue (pl. VIII, fig. 26, *a*, *f*); plus étroit, mais au moins aussi épais ou plus épais de haut en bas, dans sa partie postérieure (fig. 23 et 26, *g*), née la première, que dans la partie antérieure plus large (fig. 23, *l*, et fig. 26, *e*), qui est une extension de l'autre.

Le tissu de ces points d'ossification reste aréolaire et ostéoïde (c'est-à-dire à ostéoplastes en voie de production sans canalicules radiés périphériques) jusqu'à l'époque où ils atteignent un diamètre de 2 millimètres au moins et de 3 millimètres même sur quelques-uns. Mais, dès le moment où le point osseux atteint 1 millimètre $\frac{1}{2}$ de large, on voit se produire dans son centre, à la place que traversait la notocorde, une portion osseuse très-dure, lenticulaire, large de 1 millimètre sur les points d'ossification, qui ont de 2 à 3 millimètres de long. Cette portion centrale résiste à la coupe et à l'écrasement bien plus que le tissu aréolaire ambiant, et s'en détache souvent par brisure plutôt que de céder au scalpel (pl. VII, fig. 23, *a*). Cette sorte de noyau osseux, dur, au milieu du tissu aréolaire encore mou, renferme des ostéoplastes, mais qui n'ont pourtant pas encore des canalicules radiés. Ces ostéoplastes sont rapprochés, de forme ovoïde ou lenticulaire peu régulière, larges de 2 à 3 centièmes de millimètre. La substance osseuse propre ou fondamentale qui les limite et les sépare est homogène, transparente, c'est-à-dire qu'elle n'est plus grenue ni presque opaque comme celle du tissu osseux encore aréolaire. De plus, elle n'est pas encore traversée par des canalicules radiés, les ostéoplastes n'en ayant pas encore, ainsi que je l'ai dit. Plus tard, le tissu de ce noyau dur se résorbe lors de la production des espaces médullaires et du tissu spongieux

avant que des canalicules se soient formés autour des ostéoplastes. Jusqu'à cette époque, aucun canalicule vasculaire et aucun vaisseau par conséquent ne traverse cette sorte de noyau de tissu ostéoïde, quoiqu'il y en ait déjà dans le tissu aréolaire ambiant (fig. 20, *c*) lorsqu'il a atteint les canaux du cartilage vasculaire (1).

De la périphérie du point osseux considéré en masse s'irradient dans le cartilage des prolongements ostéogéniques granuleux, grêles, dépourvus d'ostéoplastes, longs de $\frac{1}{10}$ de millimètre environ. Ils siégent dans la substance fondamentale du cartilage qui sépare les chondroplastes; étant ramifiés et anastomosés, ils entourent ceux-ci et donnent une disposition aréolaire très-élégante aux préparations placées sous le microscope. Les aréoles ou parties plus claires, circonscrites par les prolongements ci-dessus et par leurs ramifications, sont représentées par les chondroplastes remplis par leurs cellules en voie d'atrophie devenues irrégulières, anguleuses; atrophie d'autant plus prononcée qu'on s'approche davantage du noyau central ostéoïde décrit plus haut.

Que les cartilages soient déjà pourvus de canaux vasculaires ou non, les chondroplastes perdent généralement, dans le voisinage de ces irradiations ostéogéniques, leur forme étroite et allongée, fœtale ou embryonnaire, pour de-

(1) « Le cartilage hyalin peut s'incruster pour aller jusqu'à la formation de corpuscules osseux rayonnés et du système de lamelles (concentriques); il en est ainsi sous le cartilage articulaire chez les mammifères et les oiseaux, et en divers points des pièces squelettiques des poissons cartilagineux. La substance fondamentale y subit des changements frappants. » (Lieberkühn, *loc. cit.*, 1862, p. 705.)

venir bien plus larges, arrondis, à cellules bien développées, souvent multiples ; ils ne laissent plus entre eux qu'une mince bande ou cloison de substance fondamentale, et en même temps ils se disposent en séries plus ou moins longues, perpendiculaires à la surface de la couche osseuse déjà formée. Ils tranchent ainsi sur la petitesse des autres chondroplastes qu'ils semblent repousser vers la périphérie. C'est là un fait très-frappant, et qui se montre dès l'apparition des points osseux chez l'embryon au centre des vertèbres.

Alors qu'on croyait que l'os était une transformation directe du cartilage et que tout os représentait exactement le cartilage jusque dans les moindres détails de structure, on admettait que les chondroplastes étaient déjà disposés autour des conduits des cartilages vasculaires, comme le sont les ostéoplastes par rapport aux canalicules osseux. Or, si par places, loin des points d'ossification, les chondroplastes encore allongés, fusiformes, ont leur grand diamètre dirigé en sens inverse de l'axe des conduits vasculaires du cartilage (particularité habituelle aux ostéoplastes par rapport aux canalicules de Havers), ce fait est loin d'être constant, et n'existe plus au voisinage de la couche osseuse en voie d'envahissement sur le cartilage.

On voit qu'ici la génération de l'os a lieu avant celle du périchondre (quelques-unes des vertèbres dorsales), avant celle des vaisseaux du cartilage (mêmes vertèbres et os de la base du crâne, marteau, enclume, côtes, etc.), et dans tous ces organes elle a lieu loin de ce périchondre, avant qu'il soit devenu périoste, loin du périoste par conséquent. Ici (aussi bien que dans les circonstances étudiées plus bas), il naît

avant les éléments de la moelle, et par suite hors de l'influence de ce tissu également (1).

§ III. — *Sur le siége précis de l'apparition du premier point osseux des os longs.*

Le point d'ossification des cartilages précédant l'humérus, le radius, le cubitus (pl. VIII, fig. 32 et 33), le fémur, le tibia et le péroné, commence sous forme d'une tache grisâtre, devenant bientôt un petit point opaque (*i. d.*). Ce point débute

(1) Ce serait vouloir se mettre de parti pris en contradiction avec la réalité que de chercher dans ces conditions de la génération des os, qui sont les plus habituelles, à faire provenir les ostéoplastes d'une modification quelconque des corps fibro-plastiques (*cellules plasmatiques* de quelques auteurs) ou de leurs noyaux, ainsi qu'ont voulu le faire quelques médecins, puisque ces éléments n'existent pas dans le cartilage où naît la substance osseuse. Nulle part, du reste, on ne voit à la place où naissent les maxillaires les os de la voûte du crâne, non plus que dans le périoste, les corps fibro-plastiques, ni les noyaux embryoplastiques rangés régulièrement autour des capillaires, comme le sont, dans un ordre déterminé, les ostéoplastes autour des canaux vasculaires dans le tissu osseux. De plus, partout les ostéoplastes sont primitivement dépourvus de leurs canalicules radiés périphériques, dont la formation n'a lieu que par suite des phases ultérieures de leur développement. Ce fait prouve encore que les ostéoplastes ne résultent, en aucun cas, d'une transformation des corps fibro-plastiques (prétendues *cellules plasmatiques*), puisque ces derniers sont précisément caractérisés par la présence de prolongements ou fibres s'irradiant à leur périphérie (dits par hypothèse *tubes plasmatiques*) ; prolongements assimilés aux canalicules radiés des ostéoplastes, mais pour les besoins de l'hypothèse, puisqu'ils sont pleins, toujours beaucoup plus longs et moins nombreux que ces canalicules des cavités caractéristiques de l'os.

au milieu de la longueur de ces cartilages, milieu qui en est la partie la plus mince. Ce n'est pas au centre du cylindre qu'il apparaît, mais à son côté interne, presque immédiatement sous le périchondre, qui deviendra périoste (fig. 32 et 33, *d*, *h*, *i*, *r*, *p*, et 34 et 35, *y* et *v*) ; à cette époque, celui-ci est encore formé de corps fibroplastiques fusiformes ; par la direction de ces derniers et par la teinte plus foncée de la mince couche qu'ils forment, il tranche sur la substance transparente du cartilage et sur les chondroplastes arrondis ou ovoïdes, courts, dont elle est parsemée. Une ligne nette et claire de ce point de contact indique la netteté de délimitation et de séparation des tissus contigus.

Ce point osseux est en forme de cône à sommet mousse, tourné vers l'axe du cartilage, que d'abord il n'atteint pas, et sa base est limitée par une surface nette qui n'empiète pas sur le périoste. *Elle en est séparée d'abord par une très-mince épaisseur de cartilage* (*y*) et ne le touche que plus tard (1),

---

(1) Cette mince couche de substance cartilagineuse interposée à l'os et au *périchondre*, devenu ainsi *périoste*, se retrouve jusqu'à la fin de la croissance de chaque os, bien qu'à partir d'une période de la substitution de l'os au cartilage préexistant (période encore à déterminer pour chaque os quant à l'âge auquel elle correspond dans les diverses espèces), elle ne soit plus continue, mais interrompue çà et là à la surface de l'os; surface qui touche alors immédiatement le périoste. C'est cette couche qui a été appelée *ostéogène* et considérée comme appartenant à ce dernier, tandis qu'elle appartient à l'os, ou du moins à l'organe cartilagineux qui le précède ; mais on ne peut détacher le périoste pour le renverser ou le transporter sans enlever cette couche avec lui, et c'est elle qui, en s'ossifiant, devient le point de départ de la formation des os qu'on obtient ainsi, mais non le périoste même. L'observation montre que non-seulement on enlève cette couche, mais aussi avec elle et le périoste de minces

vers la fin de la croissance de l'os (pl. VIII, fig. 35, *y*). Cette base s'élargit à mesure que le sommet gagne du côté opposé (*v*), pour dépasser bientôt l'axe du cartilage et atteindre le périchondre du côté externe de l'organe, au côté diamétralement opposé à celui où la tache osseuse a débuté (fig. 33, *e*). Lorsque le point osseux atteint ce côté opposé, il s'est tellement élargi à sa base qu'il a perdu sa forme conoïde pour prendre celle d'un disque séparant le cartilage en deux moitiés, l'une supérieure, l'autre inférieure (fig. 33, *n*, *e*, et fig. 34).

Dès l'époque où ce point osseux conique a empiété sur les deux tiers de l'épaisseur du cartilage, sa base est assez large pour qu'il ait déjà l'air d'un disque, surtout si, au lieu de regarder l'organe en voie d'ossification par l'une de ses faces antérieure ou postérieure, il est placé de manière que cette

---

plaques ou parcelles de substance osseuse qui, continuant à se développer, concourent à la régénération de l'os. Elle n'existe, à proprement parler, que sur les sujets jeunes : chez l'adulte, c'est de l'os lui-même qu'émergent ces traînées phosphatiques qui, loin de provenir du périoste, se dirigent vers lui pour l'envahir bientôt. Les stalactites, dont les exemples abondent autour de certaines tumeurs voisines des os, des *tumeurs blanches anciennes* des vertèbres, n'ont pas un autre mode de développement, et il ne faut pas croire qu'elles aient été précédées par un cartilage de même forme ; elles se sont produites, comme dans les cas d'accroissement normal des os, seulement la génération de ce tissu a eu lieu dans un point limité et s'est prolongée pendant des mois, des années. Une preuve, à l'appui de cette assertion, est la constatation constante de l'existence d'ostéoplastes, ne possédant pas encore leurs canalicules périphériques, à la surface des stalactites, dont on a pratiqué des coupes à l'état frais, ostéoplastes sans canalicules radiés qui sont analogues à ceux de la couche molle (dite *ostéoïde*, ou *spongoïde*, ou *chondroïde*), de la surface du *point osseux* dans les cartilages en voie d'ossification.

base soit tournée sous le microscope vers l'œil de l'observateur.

Ce point osseux apparaît et s'avance dans le cartilage sous forme de cône aplati de haut en bas ; il atteint le côté opposé, et prend la forme d'un disque complet au milieu de l'os, dont le cartilage préexistant est ainsi divisé en deux moitiés, avant que ce cartilage, le périchondre et ce point osseux lui-même possèdent des capillaires et de la moelle.

La substance du sommet du cône osseux qui empiète de plus en plus sur le cartilage est éloignée de tout périoste pendant cette progression, et ne peut être considérée comme produite par celui-ci. Il en est de même des faces supérieure et inférieure (pl. VIII, fig. 34, *v*, *s*) de ce point osseux médian quand il a pris la forme d'un disque qui s'épaissit de plus en plus pour constituer bientôt un cylindre osseux diaphysaire, à mesure que ces deux faces empiètent sur le cartilage en s'avançant vers les extrémités épiphysaires ou articulaires (1). Car, on le comprend aisément, sa circonférence seule est voisine du périoste, dont une couche de cartilage le sépare jusqu'à la fin de la croissance, ainsi qu'on l'a vu.

Au fond, ici encore ce fait rentre dans le cas de l'autogenèse osseuse, ayant seulement lieu au sein du cartilage et non au milieu du tissu embryoplastique bordant la bouche, par exemple, ou du tissu fibreux des parois encéphaliques de l'embryon; et, dans ce cas-là pas plus que dans ceux-ci, on ne peut saisir

(1) Ce fait est surtout très-caractéristique pour la portion des points d'ossification dont la surface s'avance vers la couche de cartilage qui, ne s'ossifiant jamais, forme le *cartilage articulaire* correspondant.

la production ou *sécrétion* de l'os par un autre tissu, tel que le périoste, par exemple, ni le passage du noyau non plus que de la masse des corps fibro-plastiques de ce dernier à l'état d'ostéoplastes.

Je noterai en dehors du sujet précédent que d'un embryon à l'autre on trouve des différences sensibles touchant l'ordre de l'apparition de ces points osseux. Quant à l'époque de leur apparition, la plupart des auteurs la font de cinq à huit jours plus récente qu'elle n'est en réalité, ainsi que le montrent les renseignements précis que parfois on peut prendre à cet égard. Sur un embryon long de 24 millimètres du périnée au vertex, la petite plaque triangulaire osseuse représentant la mâchoire supérieure à son début était long de $\frac{1}{2}$ millimètre, le point osseux de la mâchoire inférieure était grêle, long de 1 millimètre; celui du cartilage de la clavicule occupait toute l'épaisseur de celle-ci et était long de 1 millimètre. Le point osseux conoïde placé au côté cubital du cartilage de l'humérus n'empiétait pas au-delà de la moitié de l'épaisseur de ce cartilage. Un point osseux de même forme existait sur le milieu de la longueur du cartilage du radius à son bord cubital, et n'empiétait pas jusqu'au milieu de son épaisseur. A ce niveau, le bord opposé du cubitus présentait à la loupe et sous le microscope une petite tache grisâtre, plus foncée que le reste du cartilage, mais non opaque.

Un point osseux formant un petit disque occupait toute l'épaisseur du milieu du fémur (fig. 33, *n*) et était un peu plus épais au côté interne de cet organe qu'au côté externe. Sur la face interne du cartilage du tibia existait un point osseux conoïde (*p*) empiétant déjà sur les deux tiers de la partie moyenne de ce cartilage. Le bord tibial ou

interne du cartilage du péroné montrait vers le milieu de sa longueur une tache grisâtre demi-transparente analogue à celle indiquée plus haut sur le cubitus, mais plus foncée (*r*).

Sur un embryon déjà long de 30 millimètres depuis le périnée jusqu'au vertex, les petites lames osseuses triangulaires du maxillaire supérieur étaient longues de 1 millimètre; celles plus allongées, presque quadrilatères, du maxillaire inférieur avaient près de $\frac{2}{3}$ de millimètre de large et étaient longues de 2 millimètres $\frac{1}{2}$ (1).

Le point osseux de la clavicule avait 2 millimètres de long. Celui de l'humérus, conoïde comme sur l'autre embryon, mais plus gros; il empiétait déjà sur les deux tiers de l'épaisseur du cartilage précédant cet organe, sans que, contrairement à ce qu'on voyait sur l'embryon ci-dessus, il y eût encore trace sur le radius et sur le cubitus de point d'ossification, ni même de la tache grisâtre qui en anonnce l'apparition.

Sur le fémur, le point d'ossification occupait toute l'épaisseur du cartilage, mais était un peu plus épais vers sa face interne qu'à sa face externe (*s*). Sur le tibia existait un point d'ossification empiétant sur les trois quarts environ du cartilage, mais sans point osseux ni tache grisâtre, même dans le milieu du péroné. Ainsi, dans les deux embryons, les points d'ossification étaient plus avancés à la cuisse et à la jambe qu'au bras et au radius; mais le plus jeune avait déjà un

---

(1) Voyez Ch. Robin. *Sur les conditions de l'ostéogénie avec ou sans cartilage préexistant.* — (*Journal de l'anatomie et de la physiologie*, Paris, 1864, in-8°, p. 577.)

point osseux au radius et des traces d'apparition prochaine de l'os au milieu du cubitus et du péroné, alors qu'il n'y en avait pas sur ces derniers cartilages chez un fœtus plus long de 6 millimètres pour le tronc et la tête seulement.

Ces points osseux des trois os longs de chaque membre apparaissent à leur côté interne, de sorte qu'il n'y a que pour l'humérus que le lieu occupé au début par ce point osseux conique coïncide à peu près avec l'endroit qu'occupera plus tard le canal nourricier de l'os.

Remarques générales sur les faits précédents. — Toutes les fois que l'os naît dans un cartilage et se substitue à lui, celui-ci a déjà, lors de l'apparition de la substance osseuse, la forme générale de l'organe osseux qui le remplace peu à peu ; mais jamais l'os ne se produit dans tout le cartilage à la fois, et lors de son apparition il n'a ni la forme du cartilage au sein duquel il naît, ni celle qu'il aura par la suite. Ce dernier fait, du reste, s'observe également pour les os qui naissent sans cartilage préexistant.

Toutes ces données prouvent qu'on ne peut avoir une notion exacte du développement du système osseux en général et de chaque os en particulier si on l'étudie, ainsi que cela est d'usage, en faisant abstraction de la forme et des autres caractères du cartilage préexistant à l'os, si on détruit ce cartilage par la macération pour ne conserver que l'organe osseux qui vient de se substituer à lui. Il importe, au contraire, de savoir pour chaque os quand et comment naît le cartilage qui le précède, quand et comment naît la substance osseuse dans celui-ci. Enfin il n'importe pas moins de suivre ensuite et d'une manière parallèle, en quelque sorte, les

phases du développement des deux parties, cartilagineuse et osseuse, de chaque pièce squelettique jusqu'à ce que celle-ci soit entièrement substituée à la première ; car le cartilage continue à présenter des changements évolutifs considérables, après l'apparition de l'os dans son épaisseur.

Ces notions une fois acquises, en procédant de cette manière, viendraient changer en bien des points les idées qui règnent encore sur ce qu'on nomme les lois de l'ostéogénie en particulier et sur le système osseux considéré soit dans la série des animaux vertébrés, soit sur chaque espèce animale en particulier.

En conduisant à déterminer exactement la nature réelle des tissus par la connaissance des éléments qui les composent et par celle de leur mode de naissance et de développement, l'anatomie générale apporte ainsi de notables modifications dans la manière, jusqu'à présent adoptée, d'envisager les systèmes anatomiques, et donne à leur étude une importance plus grande que celle qu'on croyait devoir lui attribuer (1).

Le tissu osseux des points d'ossification des os longs reste aréolaire ou ostéoïde jusqu'à l'époque où ils ont 1 millimètre de diamètre et même plus. C'est alors que commencent à se montrer les canalicules autour des ostéoplastes, d'abord en petit nombre, puis plus abondants. Ce tissu parfait ou à ostéoplastes radiés est d'abord compacte et prend rapide-

---

(1) « J'établis d'abord que les os existent à l'état cartilagineux avant de devenir solides par l'addition du phosphate de chaux, et je montre ensuite que c'est dans cet état primitif qu'il faut les observer, si on veut acquérir des notions exactes sur les phénomènes de leur formation. » (Serres, *loc. cit.*, *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, 1861, t. LIII, p. 355.)

ment cet état jusqu'auprès du périchondre devenu périoste qu'il touche ; de sorte que, dans les premiers os qui naissent précédés d'un cartilage, le cartilage étant petit, le périchondre est promptement atteint par la substance osseuse, ainsi qu'on le voit à la clavicule, à l'humérus, au fémur ; aussi là on trouve des ostéoplastes commençant à être radiés presque immédiatement au-dessous du périchondre, tandis qu'aux extrémités du petit cylindre osseux une épaisseur assez grande de tissu encore aréolaire sépare le tissu parfait du cartilage, ainsi que je l'ai dit plus haut.

Ce premier tissu osseux parfait se creuse d'espaces médullaires et de canaux vasculaires, ou disparaît même entièrement pour la formation du canal médullaire (1). A leur origine, les canaux vasculaires sont la plupart plus larges que ceux du tissu compacte chez l'adulte. Le tissu osseux qui les limite ne présente pas encore à la naissance la disposition en couches concentriques ni l'arrangement correlatif si élégant des ostéoplastes qu'on observe chez l'adulte autour des canaux de Havers ; les ostéoplastes, en outre, changent eux-mêmes individuellement, notablement avec l'âge, deviennent plus longs, mais plus minces généralement, et surtout leurs canalicules se produisent en plus grande quantité. Par places aussi on trouve plus d'ostéoplastes que dans une masse égale du tissu osseux fœtal. La production de cette disposition lamelleuse est un fait de modification intime subordonné aux actes de rénovation moléculaire nutritive et aux

(1) Voy. Ch. Robin, *Comptes rendus et Mémoires de la Société de biologie*, 1850, p. 126; b, *Formation du tissu spongieux*, et c, *Formation du tissu compacte.*

changements dits évolutifs consécutifs à la génération même de l'os. Cette disposition n'est pas le résultat d'une particularité d'accroissement ostéogénique, mais d'une modification évolutive profonde ultérieure. Ce fait a aussi été constaté par Lieberkühn, qui s'exprime ainsi à ce sujet :

« Les lamelles ne naissent pas par une superposition graduelle de jeunes couches du tissu osseux et ne sont nullement un phénomène d'accroissement, comme on l'a dit souvent ; mais elles deviennent visibles dans le tissu d'ossification déjà préexistant. » (*Loc. cit.*, 1862, p. 757.)

§ IV. — *Génération de tissu osseux sans cartilage préexistant.*

Du quarante-cinquième au cinquantième jour environ de la vie intra-utérine, on voit naître les os des deux mâchoires, sans cartilage préexistant, de même forme que celle que posséderont plus tard ces organes. Ils naissent dans l'arc viscéral ou branchial supérieur au sein du tissu embryo-plastique vasculaire mou, nullement fibreux ni cartilagineux qui les constitue, et ces os restent longtemps plongés dans ce tissu sans posséder de périoste proprement dit. Ici la génération de l'os a lieu indépendamment de tout cartilage préexistant. Elle a, par conséquent, lieu indépendamment de l'influence de tout périoste ou périchondre et de la moelle, puisque en toute circonstance la génération des éléments de celle-ci est postérieure à celle de l'os. Il en est de même des autres os de la face, tels que les os du nez, le jugal, l'apophyse zygoma-

tique et le cadre du tympan, qui naissent un peu plus tard au sein du tissu lamineux en voie d'évolution.

Du reste ces os, pas plus que ceux qui apparaissent au sein du tissu cartilagineux et que ceux dont il va être question en troisième lieu, n'ont lors de leur apparition la forme qu'ils auront plus tard à l'époque où ils s'articuleront avec ceux qui les avoisinent. Ce n'est qu'assez tard après leur apparition que se produit autour d'eux une couche périostique du tissu fibreux ; périoste restant plus longtemps épais et vasculaire autour de ces os qu'autour de ceux qui ont été précédés d'un cartilage de même forme.

Le *cadre tympanal* prend dès son apparition la forme très-élégante d'une faucille fortement recourbée en demi-cercle à convexité tournée en bas et ouverte du côté des pièces solides du tympan. Il est plus mince et plus élargi dans sa partie antérieure qu'à l'autre extrémité, qui est très-aiguë; il est plongé dans les tissus ambiants sans avoir de périoste propre. Il apparaît (vers la onzième semaine chez l'homme et chez le veau) par autogenèse, sans être précédé par un cartilage de même forme, et ne commence à posséder un périoste distinct que vers l'époque où il s'élargit transversalement, en avant surtout, pour constituer le canal auditif externe osseux, c'est-à-dire vers le huitième mois. C'est à tort que Burdach dit que le cadre du tympan paraît au deuxième mois et commence à s'ossifier à la fin du troisième mois (*Physiologie*, Paris, 1838, in-8, t. III, p. 443), puisqu'il n'est jamais cartilagineux. Bischoff note plus exactement qu'il « paraît dans la onzième semaine, sous l'aspect d'une ligne osseuse très-mince qui n'a aucune connexion avec les autres os du crâne.» (Bischoff, *Développement de l'homme et des mammifères*,

Paris, 1843, in-8, p. 405.) Du reste, à l'époque où il paraît, le temporal cartilagineux ne présente encore aucun point osseux, et ce n'est que dans le troisième mois que le rocher commence à s'ossifier. (Voyez Ch. Robin et Magitot, *Mémoire sur un organe transitoire de la vie fœtale désigné sous le nom de cartilage de Meckel. Annales des sciences naturelles,* Paris, 1862, in-8. *Zoologie*, t. XVIII, p. 220.)

J'ai décrit ailleurs (1) cette production immédiate de la substance caractéristique des os. Elle est très-frappante sur les premiers points osseux des maxillaires supérieurs des jeunes embryons, tels que ceux dont je viens de parler plus haut. Là aussi elle a lieu dans un tissu embryo-plastique mou, sans trace de fibres, semblable à celui que je viens également de signaler à propos des maxillaires inférieurs. Là, comme pour les os du crâne, la substance osseuse naît sous forme de prolongements ou rayons minces qui en s'anastomosant circonscrivent des espaces circulaires ou ovalaires ouverts aux deux faces de l'os et encore traversés par le tissu mou indiqué ci-dessus. On peut, aux extrémités et sur les bords de ces lamelles, voir des ostéoplastes à toutes leurs phases de développement.

Ils sont d'abord très-petits, parfois larges seulement de 4 à 6 millièmes de millimètre, ouverts aux deux faces de l'os

---

(1) Voy. Ch. Robin. *Sur le développement de la substance et du tissu des os. Comptes rendus et mémoires de la Société de biologie*, Paris, 1850, in-8°, p. 126.) Voy. auss Magitot et Ch. Robin. *Genèse et développement des follicules dentaires.* (*Journal de la physiologie*, Paris, 1861, in-8°, p. 153 et 160, en notes.)

quand les lamelles sont très minces, ce qui est commun ; ils leur donnent alors un aspect criblé, dans lequel chaque trou est représenté par un ostéoplaste plus petit ordinairement ou aussi grand qu'à l'état de plein développement. Ces ostéoplastes, en outre, sont plus rapprochés les uns des autres que ceux de l'os qui se substitue à un cartilage préexistant. Ces orifices de l'os naissant lamelleux se reconnaissent facilement comme étant des ostéoplastes en ce que beaucoup, dès l'origine, sont pourvus d'incisures qui marquent le commencement des canalicules radiés ; fait qui se confirme lorsque, examinant ces cavités de plus en plus avant dans l'os, on les trouve clos de toutes parts et avec des formes de mieux en mieux déterminées et des dimensions bien plus grandes. Toutefois, ils sont encore plus courts, relativement au moins, et plus larges qu'ils ne le seront ; car ce n'est que plus tard qu'ils deviennent étroits et allongés. Quand le bord de l'os naissant est épais on voit à sa superficie des ostéoplastes encore ouverts en un point plus ou moins large de leur étendue et d'autres déjà clos dans leur voisinage immédiat. Ils sont sphéroïdaux à surface rendue irrégulière par la présence de canalicules radiés assez nombreux, relativement larges, déjà anastomosés entre eux ou en continuation avec les ostéoplastes voisins qui sont très-rapprochés les uns des autres, plus que dans le tissu osseux succédant au cartilage. De là un aspect comme cribleux très-remarquable de ce tissu osseux, naissant ainsi, sans passer par l'état ostéoïde ou aréolaire que présente le tissu osseux qui succède au cartilage durant la génération des ostéoplastes ; car les aréoles des points d'ossification à l'état ostéoïde ne doivent pas être confondues avec les espaces circulaires ou ovalaires que circonscrivent

les trabécules osseuses ramifiées et anastomosées dont je viens de décrire la génération. Ces espaces sont pleins ici de tissu embryo-plastique et bientôt de tissu lamineux, puis plus tard, dans le diploé, de vaisseaux seulement et de moelle.

Que les bords des trabécules ou des lames de l'os naissant dans ces conditions soient minces ou épais, ils sont, d'une trabécule à l'autre, pourvus ou non d'une couche épaisse de 1 à 3 centièmes de millimètre d'une substance homogène, sans noyaux ni cellules et très-légèrement jaunâtre ; elle sépare le bord même de l'os soit du tissu mou des mâchoires de l'embryon, soit du tissu lamineux ambiant déjà disposé ou non en périoste du crâne, etc. Lorsqu'elle existe, c'est sur ses limites et celles de l'os même que sont les ostéoplastes en voie de génération tels que je les ai signalés; mais d'abord bien plus pâles. C'est cette couche que j'ai appelée autrefois *trame cartilagineuse envahissante* (*loc. cit.*, 1850, p. 125), qui ici particulièrement est dépourvue de cavités ou chondroplastes ; mais en certains points autour des os de la voûte du crâne en voie de développement et sous le périoste, elle renferme de petites cavités qui sont pleines de liquide (et ont quelquefois été appelées des cellules).

Les os, dont je viens de parler, qui ne sont pas précédés d'un cartilage de même forme que celle qu'ils ont plus tard, ne naissent jamais avec la disposition morphologique qu'ils présenteront un jour. En outre, ils changent davantage et beaucoup plus longtemps avec l'âge que les os précédés d'un cartilage semblablement conformé. Ils offrent aussi des variétés de nombre et de forme plus nombreuses et plus notables sur les sujets de même âge et de même espèce. Enfin,

ils diffèrent généralement plus de leurs homologues d'une espèce à l'autre, que ne le font les os qui ont commencé par être cartilagineux. Ils offrent en outre, soit à l'état normal, soit pathologiquement, des particularités physiologiques que ne présentent pas les autres os.

Ce fait domine, si l'on peut ainsi dire, les particularités que présentent ces os, comparativement aux autres, sous le point de vue de leurs connexions qui ne sont jamais des *articulations* proprement dites, et dont les analogues ne se retrouvent pas dans les articulations des pièces squelettiques précédées d'un cartilage de même forme. Ces dernières conservent presque toutes une couche cartilagineuse, avec ou sans ligament fibreux interposé à leurs surfaces de jonction, ce qui n'a pas lieu sur les autres. Ce fait domine aussi les particularités relatives à l'accroissement et à la diminution de volume, dans la série des âges, des os non précédés de cartilages, ainsi que celles qui sont relatives à leur soudure; particularités qui ont tant d'importance dans l'étude comparative des os de la tête ainsi que des modifications adultes et séniles de l'encéphale et des traits de la face.

Les pièces du squelette, qui commencent par être du cartilage, offrent, aussitôt après leur apparition, une forme si régulière et si nettement déterminée, du même type que celle de l'os qui leur succédera, que toute description ostéologique devra comprendre à l'avenir, ainsi que je l'ai déjà dit, aussi bien ces premières périodes de chacun de ces organes que celle de l'âge adulte à laquelle on se borne aujourd'hui contre toute raison.

Les parties ou points osseux n'ont également pas au début la forme qu'ils auront plus tard ; mais le cartilage au sein

duquel ils apparaissent a déjà la configuration qu'aura l'os, et celui-ci en change peu durant son accroissement et ne se soude pas aux parties similaires qu'il touche, en dehors des cas morbides. Malgré la plus grande fixité morphologique des pièces squelettiques qui naissent d'après le mode que nous venons d'indiquer, la détermination de leurs homologies et de leurs homotypies devra toujours s'appuyer sur l'examen de ces organes fait dans la série des âges, comme s'il s'agissait de ceux qui naissent suivant le premier; elle en tirera en effet d'utiles indications dans le cas où les cartilages débutent par plusieurs pièces cartilagineuses primitivement distinctes, comme les parties appendiculaires des vertèbres, dont l'apparition n'est pas simultanée, et qui se soudent ensuite au corps vertébral et les unes aux autres.

Du trente-cinquième au quarantième jour environ après la conception, sur des embryons longs de 18 à 20 millimètres chez l'homme, de 28 à 30 millimètres chez la vache, on voit apparaître le long de la portion extra-tympanique du cartilage de Meckel une traînée d'un tissu qui, sous le microscope, est plus foncé que celui qui l'entoure (1). Un fort

(1) Bischoff, parlant du maxillaire inférieur, dit : « La surface articulaire se produit par séparation histologique, de la même manière que les côtes se séparent des vertèbres. » (*Traité du développement*, Paris, 1845, in-8°, trad. franç., p. 402.) Ce fait ne peut être considéré comme s'appliquant à la mâchoire et au rocher. Des observations directes sur des embryons humains, de vache, de porc, de lapin, de mouton et de rat, nous ont prouvé que les cartilages des côtes ne sont pas en continuité de tissu, lors de leur genèse, avec ceux contre lesquels ils s'articulent, pas plus que l'occipital n'est d'abord continu avec l'atlas. Tous ces cartilages naissent comme organes distincts séparés

grossissement permet facilement d'y reconnaître les caractères du tissu osseux à son début, sans cartilage préexistant, tels qu'on les constate plus aisément sur l'arc tympanique, sur la portion écailleuse du frontal, et autres os de la voûte du crâne des petits fœtus.

Cette première traînée osseuse, aplatie, allongée, apparaît vers le milieu de la moitié antérieure de chacune des deux branches homologues du cartilage de Meckel, au bord inférieur et externe de celui-ci, sur une longueur de $\frac{1}{2}$ à 1 millimètre. Elle est d'abord moins haute que le cartilage n'est épais (celui-ci offre, à cette époque, une longueur de 4 à 5 millimètres chez l'homme et de 6 à 8 chez la vache, sur $\frac{1}{2}$ millimètre d'épaisseur environ). Chaque petite plaque lamelleuse, très-fragile, aréolaire, se développe rapidement en longueur et en hauteur ; elle dépasse bientôt le bord supérieur du cartilage et grandit toujours plus de ce côté que de celui du bord opposé. Elle masque ainsi une portion du trajet du cartilage qui la dépasse en avant et surtout en ar-

---

par une couche de tissu lamineux existant au niveau même des endroits où plus tard seront des cavités articulaires. Quant aux maxillaires inférieurs, comme ils naissent par autogenèse et se développent d'après le mode d'ossification dit par envahissement, sans être précédés de cartilage, il est manifeste que leur surface articulaire condylienne ne se forme pas par séparation histologique de ce cartilage, qui aurait été continu avec celui du rocher. Cette séparation histologique n'est ici qu'une hypothèse contredite par l'observation, comme il en règne encore tant sur toutes les questions embryogéniques relatives aux éléments anatomiques et aux tissus, questions qu'on a tenté de résoudre par anticipation sans examen direct. Chez les mammifères, les cartilages des phalanges naissent aussi comme autant de pièces primitivement distinctes, aussi bien que ceux des parties principales des membres.

rière. Elle n'a aucune ressemblance morphologique avec l'os dont elle marque le début, et se trouve directement au contact du tissu embryoplastique mou dans lequel elle est plongée, si ce n'est que sa face interne touche la face externe du cartilage de Meckel.

Ses bords supérieur et inférieur sont assez nets, mais de ses extrémités un peu irrégulières, anguleuses, s'échappent de petits prolongements radiés qui s'avancent dans le tissu ambiant, sans trace de cartilage à leurs extrémités.

Lorsque la petite bande osseuse a acquis une longueur de 4 millimètres environ, sa hauteur s'est accrue proportionnellement. L'os dépasse alors le bord supérieur du cartilage de Meckel qui commence à occuper à la face interne de l'os la position qu'on lui retrouve ultérieurement, dans le sillon de la partie inférieure de cette face interne. Un peu plus tard, lorsque le maxillaire a atteint une longueur de 6 à 8 millimètres, il commence à présenter une forme mieux déterminée : on distingue en effet déjà son corps, ou branche horizontale, plus étroit à la partie moyenne dans le sens vertical qu'à ses extrémités ; de telle sorte que ses bords supérieur et inférieur sont légèrement concaves et le premier plus que le second.

Les deux extrémités, en s'étendant chacune vers le bout correspondant du cartilage, s'élargissent toujours davantage ; le bout antérieur devient de plus en plus foncé et plus net ; l'autre, au contraire, en s'élargissant devient plus mal délimité, parce qu'il envoie des radiations plus longues et plus écartées les unes des autres dans le tissu mou ambiant.

Du cinquante-cinquième au soixantième jour environ chez l'homme, ces radiations se séparent assez nettement en deux groupes. L'un se dirige en haut et se recourbant de plus en

plus les jours suivants, il forme bientôt une languette foncée et à bords nets; il constitue alors une lamelle aplatie, à sommet mousse, qui représente l'apophyse coronoïde. L'autre groupe de radiations suit la direction du cartilage de Meckel; il forme un prolongement aplati, plus large et plus épais que le précédent, dont une saillie à angle obtus dépasse le bord inférieur de ce cartilage vers le milieu de sa longueur et représente l'angle de la mâchoire ; le reste constituera plus tard la portion condylienne de la branche montante. Au-devant de la saillie représentant le début de l'apophyse coronoïde, on observe, à partir de cette même époque (cinquante-cinquième au soixantième jour chez l'homme), plusieurs particularités importantes sur le maxillaire : son bord supérieur, qui auparavant était concave, presque régulier, et qui est devenu plus épais que durant les jours suivants, offre en avant deux, puis quatre dépressions devenant de plus en plus profondes, dont l'observateur tient d'abord peu de compte, jusqu'au moment où apparaissent dans ces dépressions de petites masses ovoïdes, d'un tissu mou, plus foncé que le tissu ambiant, reconnaissables comme autant de bulbes et bientôt de follicules dentaires des deux incisives, de la canine et de la première molaire. On trouve en même temps, vers le sommet de la saillie coronoïde, des faisceaux musculaires aux premières phases de leur évolution.

Le bord de l'extrémité antérieure de la mâchoire est légèrement convexe, en forme d'écaille, à peine dentelé, et le tissu de cette extrémité, bien qu'aréolaire, est assez épais et assez opaque pour rendre difficile à voir le bout de la branche correspondante du cartilage de Meckel qui ne la dépasse plus.

Dans les huit ou dix jours qui suivent on voit se détacher de la face interne du maxillaire, au-dessous des dépressions dans lesquelles naissent les follicules et au-dessus du sillon occupé par le cartilage de Meckel, des radiations osseuses voisines les unes des autres, un peu recourbées dans le sens de l'apophyse coronoïde, formant bientôt une aiguille, puis une lamelle assez opaque qui s'élargit du côté du bord supérieur de la mâchoire dont elle constitue plus tard la lame interne. Vers le milieu du deuxième mois elle représente une lamelle assez large pour limiter de ce côté une gouttière qui loge les follicules des dents, et au fond de laquelle sont les vaisseaux et nerfs dentaires; elle est néanmoins encore loin d'atteindre le niveau de la lame interne, au-dessus de laquelle elle reste encore longtemps, et, détachée par déchirure, elle ne présente encore que la forme d'une languette ou aiguille étroite, mince et allongée (1).

Telle est l'origine de la lame interne de la mâchoire inférieure étendue de l'orifice d'entrée des vaisseaux et nerfs dentaires jusqu'à la symphyse, et ne descendant pas plus bas que le fond de la gouttière dentaire, fond qui devient plus tard le canal de ce nom. Au contraire, la portion aplatie que

---

(1) C'est cette aiguille qui est connue sous le nom d'*aiguille de Spix*. (Voyez sur cette aiguille osseuse et sur la gouttière dentaire, qu'elle limite en se développant comme lame interne de la mâchoire Robin et Magitot, *Journal de physiologie*, 1860, p. 12 à 18, et la note p. 18, et *Recherches sur les gouttières dentaires*, etc., in *Comptes rendus et Mém. de la Société de biologie*, Paris, 1859, in-8°, p. 217.) On voit, par ce qui précède, que c'est la portion osseuse correspondant à la lame externe du corps du maxillaire inférieur qui paraît la première, et non le bord inférieur de ce corps, comme le disent plu-

nous avons vue naître la première vers le niveau du tiers antérieur du cartilage de Meckel, représente la lame externe de la mâchoire, qui dès son apparition est aplatie de dedans en dehors, placée verticalement, plus haute et plus large qu'elle n'est épaisse.

C'est à compter de l'époque de l'apparition de la lame interne de la mâchoire encore rudimentaire, que la gouttière dentaire se trouve constituée comme nous l'avons fait connaître ailleurs, et que le corps de cet os est susceptible d'être divisé en deux moitiés lamelleuses.

C'est dans les jours suivants, c'est-à-dire du soixantième au soixante-dixième jour environ, que se montre pour la première fois du cartilage sur le maxillaire inférieur ; ce tissu se produit au bord de l'extrémité symphysaire de l'os, sous l'aspect d'une petite bande claire, en forme de segment de cercle, qui augmente peu à peu d'épaisseur, mais sans s'étendre sur les bords supérieur et inférieur du maxillaire. A l'extrémité opposée il s'en produit en même temps une petite bande de même figure, qui s'allonge rapidement en haut et en arrière. Elle prend en huit ou dix jours la forme

---

sieurs auteurs avec M. Cruveilhier. On voit aussi que c'est la lame interne qui a été appelée *aiguille de Spix, point osseux du canal dentaire* et considérée comme un point d'ossification particulier et distinct du corps de la mâchoire, ce qui en ferait quatre en tout ; deux pour chaque moitié, c'est-à-dire un pour chaque lame. (Reichert, *loc. cit.*, et Cruveilhier, *Anatomie descriptive*, Paris, 1843, 2e édit., in-8°, t. I, p. 184-185.) Mais l'étude du développement montre que cette lame naît sous forme de radiations osseuses s'élargissant de plus en plus, et que ces radiations ne sont jamais séparées du reste de l'os. Loin de naître séparément et de se souder à lui, cette lame en est un prolongement interne direct.

du condyle et de son col ; quelques semaines plus tard il en apparaît un peu au sommet de l'apophyse coronoïde et sur la saillie inférieure à angle obtus qui représente l'angle de la mâchoire.

Vers cette époque aussi (vers le soixante-quinzième jour environ chez l'homme et à une époque correspondante dans les autres mammifères), on voit apparaître sur le bord de la lame externe une mince traînée de cartilage, épaisse de quelques centièmes de millimètre seulement. Il s'en produit aussi plus tard un peu sur le bord de la lame interne, mais non sur les faces de l'os même. Toutes ces portions cartilagineuses surajoutées s'ossifient par envahissement graduel du cartilage par l'os déjà existant, qui empiète peu à peu sur lui sans qu'il apparaisse à leur centre de point osseux particulier distinct du corps de l'os (1).

En même temps que se produisent ces portions cartilagineuses, on remarque dans la constitution du maxillaire une

---

(1) Il y a dans la formation du maxillaire inférieur génération d'une certaine quantité de tissu cartilagineux (auquel l'os se substituera bientôt), qui est consécutive à celle d'une portion osseuse née sans cartilage préexistant. L'importance physiologique de ce fait est assez évidente pour n'avoir pas besoin d'être mise en relief. Ce sont ces prolongements cartilagineux surajoutés avec le temps à l'os déjà existant, quant à ses parties essentielles, que, nous appuyant à tort sur les idées admises, nous avons considérés comme étant le reste d'un cartilage préexistant qui se serait ossifié. (Robin et Magitot, *Journal de la physiologie*, 1860, p. 11-12.) Les anatomistes ne parlent que du cartilage des bouts symphysaires de l'os et nullement du cartilage supposé préexistant, qu'ils admettent pourtant implicitement. On voit que c'est à juste titre que Meckel, sans se prononcer sur la partie de la mâchoire qui naît la première, n'admet qu'une pièce osseuse originelle pour chaque moitié du maxillaire inférieur, et nie l'existence d'autres points osseux particuliers admis depuis Kerkringius, Autenrieth et Spix, dans l'apophyse coronoïde, le condyle, l'angle et la lame interne de cet os.

modification notable : ainsi on trouve, sur les bords de l'os en voie de développement, une légère couche de tissu mou d'une épaisseur de $0^{mm},02$ environ, formé de corps fusiformes fibro-plastiques, de fibres lamineuses et de noyaux embryoplastiques. Cette couche représente le périoste qui tapisse plus tard la totalité de l'os, et recouvre en même temps le cartilage de Meckel qu'il contribue à maintenir à la surface de l'os.

Ainsi le maxillaire inférieur offre une particularité que partagent aussi quelques-uns des os qui, comme lui, ne sont pas précédés d'un cartilage de même forme ; elle consiste en ce que, apparaissant par autogenèse, par production directe et immédiate, de tissu osseux au sein des tissus mous, le cartilage n'en prépare pas la venue, mais s'ajoute à l'os déjà né pour en compléter la forme, et s'ossifier plus tard par suite des progrès de l'évolution. (Ch. Robin et Magitot, *loc. cit.*, 1862, p. 230 à 237.)

Les idées généralement reçues sur le mode de formation de la mâchoire inférieure, par un certain nombre de points d'ossification, sont donc entièrement controuvées. Un seul noyau osseux, sans cartilage préexistant, produit par son développement dans tous les sens la totalité de chaque moitié de ce maxillaire. (Voy. Ch. Robin, *Observations sur la structure et sur le développement de la substance des os. Comptes rendus et Mémoires de la Société de biologie.* Paris, 1850, in-8, p. 119.) Bischoff s'exprime ainsi sur ce qui concerne le mode d'apparition de la mâchoire inférieure : « Au côté externe du premier arc branchial et de son prolongement se dépose également dans toute sa longueur une masse blastématique qui s'élève principalement sur son bord supérieur et

qui devient la *mâchoire inférieure*, comme la suite nous l'apprend. La mâchoire inférieure ne naît donc pas directement du premier arc branchial, ainsi qu'on le disait autrefois, mais d'un blastème accumulé à sa surface et qui, lorsqu'il s'est converti en *cartilage* et en os, embrasse l'arc viscéral lui-même à la manière d'une gaîne. » (Bischoff, *loc. cit.*, p. 401). C'est pour avoir tenu plus de compte de ce passage que de nos propres observations que (soit dans le travail ci-dessus, soit dans Robin et Magitot, *Mémoire sur la genèse et le développement des follicules dentaires*, in *Journal de la physiologie*. Paris, 1860, in-8, p. 8) nous avons rangé, avec nombre d'anatomistes, les maxillaires inférieur et supérieur parmi les os précédés d'un cartilage de même forme qu'eux. Des observations répétées faites sur les embryons de divers mammifères domestiques et autres, nous ont prouvé que c'est là une erreur ; elles nous ont montré aussi que, lorsque le maxillaire inférieur apparaît, la partie inférieure de la face ou du museau et le cou se sont déjà délimités autour et au-dessous du cartilage de Meckel et ont perdu les caractères d'arcs branchiaux ou viscéraux. Leur tissu est du tissu embryoplastique vasculaire avec quelques corps fusiformes fibro-plastiques, dans lequel naît directement le tissu osseux contre le cartilage de Meckel, mais sans être précédé d'aucune accumulation de blastème cartilagineux ou autre.

§ V. — *Génération osseuse au sein du tissu fibreux.*

Après le deuxième mois de la vie utérine environ l'on voit naître la substance osseuse sans cartilage préexistant dans les enveloppes alors fibreuses de la voûte crânienne (parié-

taux, portion écailleuse de l'occipital, du temporal, ailes du sphénoïde, etc.), de telle manière que dès leur origine ces os sont plongés dans un tissu fibreux mou et vasculaire dont ils conservent une lame à leur face interne et l'autre à la face externe. Ce sont là les seuls os qui naissent primitivement au sein d'un tissu analogue au périoste de l'enfant et de l'adulte. Réciproquement, c'est seulement lorsque ce périoste s'est développé autour des os dont il a été question plus haut qu'il présente les conditions nécessaires à la génération de la substance osseuse et qu'il concourt ainsi au développement de chaque os en particulier. Il continue à offrir ces conditions tant que sa texture est conservée, et il les conserve partout où il est transporté par autoplastie; mais avant lui, dans la série des âges, le cartilage et le tissu embryoplastique mou du premier arc viscéral ou maxillaire ont présenté au même titre les conditions nécessaires à la génération de l'os; tandis qu'il ne les montre originellement qu'à la voûte du crâne. On ne saurait donc, à aucun titre, dire que le périoste est la condition essentielle, primitive ou secondaire, de la génération du tissu osseux, puisque, ainsi que nous venons de le voir, des tissus qui en diffèrent remplissent les conditions nécessaires à cette génération avant lui et en dehors de lui.

L'os naît en effet : *a.* dans le cartilage indépendamment du périoste, *b.* dans les enveloppes fibreuses du crâne, puis, *c.* à la surface extérieure de l'os sous le périoste indépendamment du cartilage, et enfin *d.* dans le tissu embryoplastique bordant la bouche de l'embryon, indépendamment des deux tissus précédents.

Les conditions intimes ou moléculaires de la génération

de la substance osseuse peuvent donc se rencontrer dans des tissus très-distincts ; comme son mode de génération est le même dans chacun d'eux malgré leur diversité, l'idée de sa formation ou de la sécrétion d'un élément anatomique toujours semblable à lui-même par des tissus aussi différents les uns des autres ne saurait être admise logiquement. L'élément osseux, en un mot, comme toutes les autres espèces d'éléments, naît d'une manière qui lui est propre, à des places et à des époques déterminées, lorsque certaines conditions moléculaires s'y trouvent réunies ; indépendamment de toute relation de filiation ou de généalogie directe avec les éléments des tissus au sein desquels il apparaît ; sans qu'il y ait trace de sécrétion ou de transformation de la part de celui qui précède par rapport à celui qui succède.

Dans le cas particulier des os précédés d'un cartilage de même forme, par exemple, le tissu osseux prend la place du tissu cartilagineux en partant à peu près de leur milieu pour aller vers la périphérie. A son tour le tissu médullaire se substitue du centre à la périphérie au tissu osseux qui se résorbe, sans qu'il soit possible de faire provenir les éléments de la moelle des noyaux embryoplastiques ou autres qui font défaut dans la substance osseuse. Ces éléments de la moelle, différents en tous points physiquement, chimiquement, physiologiquement et par leurs altérations de ceux du tissus lamineux, du cartilage, etc., peuvent à leur tour être remplacés accidentellement par des éléments du tissu lamineux à l'état fibrillaire et à l'état adipeux (1).

(1) Les états morbides dits cancéreux, etc., ne sont qu'une anomalie de

Le périoste lui-même ne fait pas exception à cette loi de substitution graduelle, et il disparaît devant le tissu qui le remplace lorsque l'os atteint son complet développement. Cette substitution se continue dans les parties qui restent toujours intimement adhérentes aux os, telles que les ligaments et les tendons ; de là vient que les crêtes et les saillies osseuses sont d'autant plus saillantes à leur niveau que les sujets sont d'un âge plus avancé.

A compter du septième mois de la vie intra-utérine et même avant, jusqu'à la douzième année après la naissance, le périoste est beaucoup plus épais qu'il ne sera plus tard, et cela sur les os longs et sur les os courts, mais surtout sur les os longs. Malgré cette épaisseur, qui fait qu'à cette époque le périoste est blanchâtre et a l'aspect du tissu fibreux, il offre la composition élémentaire du tissu lamineux et non celle du tissu fibreux. Il conserve encore une certaine épaisseur jusqu'à l'âge adulte ; mais à partir de cette époque il va en diminuant d'épaisseur, au point que chez le vieillard il est réduit à de minces membranes de tissu lamineux riches en capillaires, qui lorsqu'elles ne sont pas injectées exigent une certaine attention pour être distinguées. Cet amincissement avait déjà frappé Bichat qui n'en avait pas moins con-

---

génération en excès et hors lieu d'un tissu succédant à un autre dont il prend la place ; c'est une forme anormale, grandiose par sa généralité et sa fatalité, de ces successions d'éléments dont les uns remplacent les autres et qui caractérisent l'évolution régulière des tissus et des systèmes ; fait essentiellement distinct des phénomènes de nutrition et de développement dont les éléments anatomiques envisagés individuellement sont le siége, phénomènes qui entraînent des complications fréquentes dans la rapidité de la substitution de certains tissus aux autres, des modifications de leur aspect, etc.

tinué à le ranger dans le tissu fibreux, comme cela se faisait avant lui. De son temps, on considérait aussi le périoste comme formant une enveloppe qui entourait les os de toutes parts, ce qui n'est pas, car il n'existe que dans les portions où il n'y a pas d'autre organe, tel que cartilages, ligaments et tendons en connexion avec l'os.

Toutefois, chez le fœtus, en détachant le périoste, il arrive souvent qu'on détache en même temps les ligaments, mais surtout les tendons qui sont moins adhérents alors que plus tard.

C'est là une des raisons qui ont fait croire pendant très-longtemps que le périoste passait au-dessous des tendons, entre les tendons et l'os, et que c'était au périoste en réalité et non aux os qu'adhéraient les tendons; mais l'examen direct fait sur des coupes convenables, portant à la fois sur le tendon et sur la substance osseuse, montre parfaitement que le périoste ne passe pas entre le tendon et l'os; seulement l'adhérence du tendon aux os, toujours proportionnelle à la consistance et à la ténacité des tissus, est moins puissante dans le jeune âge que chez l'adulte. Une particularité assez frappante à cet égard, c'est qu'à la mâchoire inférieure on décolle toujours plus facilement les attaches tendineuses que sur les autres os.

Il faut noter aussi qu'autour des os plats, comme le maxillaire inférieur, autour des os de la face et à la surface extérieure des os du crâne, le périoste, même chez les vieillards, conserve toujours une épaisseur plus grande qu'autour des os longs et des autres os plats.

§ VI. — *Remarques générales sur les faits précédents.*

J'ai déjà indiqué que dans la génération de l'os au sein d'un cartilage de même forme préexistant, il est impossible de voir un seul ostéoplaste provenir des noyaux dits du tissu cellulaire, non plus que des corps fibro-plastiques fusiformes ou étoilés, ces éléments n'existant pas dans ces cartilages.

Lorsque l'os naît par autogenèse directe, au sein du tissu embryoplastique des arcs maxillaires de l'embryon, les noyaux de ce tissu sont réguliers et ovoïdes, longs de 7 à 9 millièmes de millimètre. Or les ostéoplastes naissants n'ont pour la plupart que de 4 à 6 millièmes de millimètre de large ; puis ils grandissent rapidement, vont jusqu'à atteindre 30 millièmes de millimètre, sans montrer des noyaux ni des cellules dans leur intérieur, ainsi qu'il est facile de s'en assurer dans ces conditions.

Dans les enveloppes fibreuses du crâne et sous le périoste les phénomènes observés sont entièrement semblables à ceux que j'ai décrits plus haut. Là encore aucun fait ne peut permettre de considérer les ostéoplastes comme une provenance des corps fibro-plastiques fusiformes ou étoilés, ni de regarder ceux-ci comme englobés et contenus dans les ostéoplastes. Il y a une certaine analogie générale de forme entre les corps fibro-plastiques étoilés, tels que ceux de la cornée, de l'organe de l'émail, etc., et les ostéoplastes dont le développement est achevé, dont la forme est devenue allongée, d'irrégulièrement globuleuse qu'elle était, dont les canalicules

radiés sont développés. Mais leurs dimensions sont très-différentes ; de plus ces analogies deviennent fort éloignées dès qu'on tient compte du mode de génération de ces corps fibro-plastiques mêmes et de celui des ostéoplastes, de la grandeur des uns et des autres, de leur nombre en un espace donné comparativement dans le crâne fibreux du fœtus, dans le périoste ; ces analogies s'éteignent enfin quand on tient compte du nombre et de la grandeur des fibres qui partent de la périphérie des corps fibro-plastiques et de ceux des canalicules qui continuent les ostéoplastes.

On reconnaît alors que c'est sur des caractères mieux déterminés que ceux tirés des analogies générales de forme des éléments anatomiques complétement développés que doivent être fondées les inductions relatives à leur génération.

Lieberkühn, de son côté, est du reste arrivé à des résultats analogues aux précédents et à ceux que j'ai publiés en 1850 ; il s'exprime ainsi sur le point particulier dont je viens de parler :

« Il est démontré par les observations précédentes que le tendon en voie d'ossification perd la structure de tendon et reçoit celle d'os, sous l'influence des changements continus du tissu qui s'ossifie. L'opinion récemment émise, qui consiste à avoir recours pour l'ossification du cartilage à celle dans laquelle ce ne doit pas être le cartilage même qui forme la base des os, mais un nouveau blastème formé par les espaces médullaires après la dissolution préalable du prétendu cartilage calcaire, cette opinion, dis-je, manque non-seulement de fondement, mais en outre des éléments d'un grand poids établissent décidément le contraire. » (Lieberkühn,

Ueber die Ossification, in *Archiv fuer Anat. und Physiol.*, Leipzig, 1860, in-8, p. 838.)

« Par les observations exposées plus haut, il est démontré en outre : *que les corps étoilés du tissu unissant n'existent pas dans le tissu des tendons tels que Virchow les a décrits ;* s'ils y existaient ils devraient, selon les assertions propres de Virchow, devenir des corpuscules osseux pendant l'ossification (1). Nous voyons pourtant de la manière la plus évidente les corpuscules osseux naître uniquement et absolument des cellules de la substance cartilaginiforme interposée à l'os et au tendon apparaissant avant l'ossification. » (Lieberkühn, p. 840. La substance dont parle Lieberkühn est celle dont j'ai fait mention plus haut, et *loc. cit.*, *Comptes rendus et mém. de la Soc. de biologie* 1850, p. 125.)

Plus loin (p. 841), Lieberkühn ajoute : « Dans les régions où *des corpuscules osseux naissent réellement par ossification du tissu unissant figuré* (c'est-à-dire formé de faisceaux subdivisibles en fibres), *l'ossification commence et s'avance par une précession particulière de substance cartilagineuse pourvue de cellules ;* c'est ce qui a lieu dans le tissu tendineux. On doit maintenant remarquer que si Virchow a donné comme acceptable d'une manière générale son opinion sur l'identité des os, des cartilages et des corpuscules du tissu unissant,

(1) Plus tard (1862), Lieberkühn, traitant une autre question qui se rattache à elle-ci, s'est exprimé ainsi : « Si les cellules étoilées n'existent pas dans le tissu des tendons, la doctrine d'un prétendu système de tubes plasmatiques ne peut plus être soutenue ici, contrairement à ce que Virchow, et après lui Kölliker et d'autres auteurs, ont admis dans les tendons, etc. » Dès 1858, je me suis élevé aussi contre cette hypothèse.

parce que le tissu cellulaire figuré peut s'ossifier et que ses corpuscules ci-dessus seraient des corpuscules osseux, il importe, dis-je, de remarquer au contraire que jamais ce fait n'a été démontré une seule fois. »

En résumé, on voit que le début de tout *point d'ossification* qui naît au sein d'un cartilage préexistant, vers le centre ou vers la superficie de celui-ci, selon qu'il s'agit d'os court ou d'os long (voy. les fig. 12, 19 et 32), a lieu de la même manière, qui est la suivante.

Dans l'endroit, large de quelques dixièmes de millimètre, où la substance osseuse propre ou fondamentale va paraître bientôt, les chondroplastes perdent leur forme étroite et allongée, anguleuse ou non, dite embryonnaire ou fœtale. Ils deviennent ovoïdes ou arrondis, bien plus larges, à cellules bien développées, nettes, souvent multiples, parfois comprimées réciproquement. Quelquefois aussi ce sont plusieurs chondroplastes à une seule cellule qui sont réunis en groupes de quatre à huit, séparés par une très-mince bande de substance fondamentale hyaline ; de sorte que le premier coup d'œil fait croire à l'existence d'un grand chondroplaste à cellules multiples. Les chondroplastes devenus arrondis ou les groupes qu'ils forment se disposent en séries parallèles entre elles ou irradiées à partir du centre du cartilage, avec une mince bande de substance fondamentale généralement hyaline, parfois très-finement striée.

Le point d'ossification débute par la production de groupes de granulations disposés sous forme de traînées dans ces bandes de substance fondamentale, vers leur milieu. Ces granules constituent bientôt des lamelles continues entre les

chondroplastes qu'elles circonscrivent; lamelles qui à la coupe se présentent sous forme de minces trabécules entre-croisées et se joignant ensemble sous des angles divers. Dans les aréoles qu'elles circonscrivent, on reconnaît encore les chondroplastes et leurs cellules n'ayant guère diminué de diamètre, d'autant plus irrégulières et plus grenues qu'on les examine plus près du centre de chaque point d'ossification. On reconnaît ces cellules soit directement sur des coupes fraîches, soit sur des pièces traitées par les acides chlorhydrique ou azotique étendus ou même par l'acide acétique, qui dissout ces lamelles bien plus lentement toutefois que les réactifs précédents.

Le tissu osseux reste ainsi aréolaire à aréoles larges en moyenne de 40 millièmes de millimètre circonscrivant de toutes parts les chondroplastes ; les acides en dissolvant les sels calcaires gonflent la substance organique qui reste après leur action et déterminent la production d'une couche hyaline sinueuse, épaisse de 1 centième de millimètre, bordant la face interne des aréoles. Ce n'est qu'à l'époque où le *point d'ossification* déjà blanchâtre et opaque offre un diamètre de 1 millimètre et parfois plus que se montrent vers son centre les cavités caractéristiques ou, en d'autres termes, que se produisent les canalicules radiés autour des cavités ou aréoles précédentes, réduites alors à un diamètre de 18 à 25 millièmes de millimètre.

Tant que le tissu osseux d'un point d'ossification est à l'état aréolaire, celui-ci diminue notablement de volume lors de la dessiccation du cartilage qui le renferme, parfois de moitié ou environ.

Un tissu osseux semblable (dit *ostéoïde* par quelques au-

teurs, *spongoïde* par d'autres), c'est-à-dire aréolaire et sans ostéoplastes radiés, dépasse toujours, sur une épaisseur de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ millimètre, la partie osseuse bien formée, pendant toute la durée de l'ossification des cartilages du squelette de l'enfant (1).

Les lames de ce tissu osseux, qui occupent déjà la place de la substance fondamentale du cartilage, mais ne se sont pas encore substituées aux cavités et à leur contenu cellulaire qu'elles circonscrivent, ont des contours peu réguliers; elles sont généralement grenues et par suite peu transparentes sous le microscope. Aussi sur les coupes portant à la fois sur le cartilage non ossifié, sur la portion aréolaire ou ostéoïde et sur l'os parfait, la partie ostéoïde est plus opaque que la lame d'os de même épaisseur à ostéoplastes radiés qui lui font suite. Ce peu de transparence de la portion encore aréolaire des points d'ossification est même une des causes qui rendent difficiles ces études ostéogéniques.

Sur des coupes de ce genre on trouve ainsi successivement le cartilage transparent avec ses chondroplastes en séries; puis, dans sa substance fondamentale se voient plus près de l'os les traînées parallèles, granuleuses, du dépôt phosphatique qui, plus près encore, s'anastomosent transversalement par des traînées semblables, circonscrivant les chondro-

(1) Ou, en d'autres termes, ce n'est qu'à $\frac{1}{3}$ ou à $\frac{1}{2}$ millimètre et plus, en dedans de la périphérie du point osseux, dans les os précédés d'un cartilage de même forme, que se voient des ostéoplastes déjà radiés. Ch. Robin, *Sur les cavités caractéristiques des os.* (*Comptes rendus et mémoires de la Société de biologie*, Paris, 1856, in-8°, p. 193.)

plastes; on arrive ainsi à la couche de tissu osseux aréolaire ou ostéoïde peu transparente décrite plus haut; celle-ci conduit au tissu osseux proprement dit ou parfait, à ostéoplastes bien limités, déjà radiés, plus transparent que le tissu ostéoïde, qui est en continuité avec lui. Ce tissu, dans les points osseux déjà vasculaires et volumineux, forme une mince couche presque compacte plus transparente, épaisse de 1 à 3 dixièmes de millimètre, selon les os dont il s'agit; derrière elle on retombe, si l'on peut dire ainsi, dans un tissu aréolaire, mais qui est du tissu spongieux des os proprement dits, c'est-à-dire dans lequel les aréoles ne sont pas closes de toutes parts, communiquent ensemble, sont pleines de moelle; les lames ou trabécules qui les séparent sont consistantes, transparentes, comme l'os parfait, surtout au contact de la glycérine, et contiennent des ostéoplastes radiés entièrement développés. Dans les os longs ces trabécules forment des colonnettes parallèles au grand axe de l'os, perpendiculaires par conséquent à la lame compacte qui sépare ce tissu spongieux du tissu osseux aréolaire ou ostéoïde et du cartilage; ces colonnettes limitent des espaces médullaires allongés. La forme des trabécules, des lamelles et des espaces médullaires est différente dans les os qui doivent rester spongieux.

J'ai décrit ailleurs (1) la manière dont naissent les ostéo-

(1) Ch. Robin, *Observations sur le développement de la substance et du tissu des os.* (*Comptes rendus et mémoires de la Société de biologie*, Paris, 1850, in-8°, p. 119), et article Ostéogénie du *Supplément au dictionnaire des dictionnaires de médecine*, Paris, 1849, in-8°. — a. *Génération osseuse par substitution* (du tissu osseux à celui d'un cartilage préexistant, de même forme) et formation des ostéoplastes.

plastes d'une part, et ensuite leurs canalicules radiés d'autre part (improprement *canaux poreux* de quelques auteurs). Je n'ai par conséquent pas à y revenir. Je mentionnerai cependant que, depuis lors, Lieberkühn a publié des observations étendues qui se rapportent exactement à celles auxquelles je viens de renvoyer.

Lieberkühn s'exprime ainsi sur le point particulier dont il est question ici :

« Les corpuscules osseux rayonnés provenant des cartilages hyalins naissent par des couches d'épaississement qui, en raison de la formation ultérieure des canaux poreux (canalicules des ostéoplastes), s'étendent dans les parois incrustées des cavités cartilagineuses circonscrites, et cela par un rétrécissement successif de ces dernières et par une résorption progressive de la substance osseuse aux extrémités des canaux poreux (p. 705-706). Les restes de cellules enfermés dans les cavités osseuses sont toujours un reste des cellules cartilagineuses, dans les os provenant des cartilages hyalins (1). »

Ailleurs le même auteur ajoute (p. 721) : « Si on poursuit plus loin les phases de l'ossification, on trouve, d'après les faits communiqués tout à l'heure sur la manière dont les choses se passent, que les *cavités cartilagineuses* se rétrécissent peu à peu pendant la diminution de volume des cellules du cartilage, et deviennent des *cavités osseuses radiées* d'après le mode déjà écrit. Par là naissent les *glomeruli* de Brandt. »

---

(1) Lieberkühn, *Ueber die Ossification des hyalinen Knorpels.* (*Archiv fur Anatomie*, etc. Leipzig, 1862, in-8°, p. 702.)

« H. Müller considère la formation des *glomérules* comme une formation particulière de la substance des os. D'après sa manière de voir, elle s'effectue par suite de ce que la nouvelle substance osseuse avec ses corpuscules remplit plus ou moins les capsules cartilagineuses largement ouvertes, liée ainsi à des espaces préexistants d'une forme déterminée. » Puis un peu plus loin (p. 722) il dit : « Les capsules incomplétement développées de Henri Müller sont des produits de l'art ; elles ne sont incomplétement remplies que parce que leur contenu est presque complétement disparu. »

« Il ne peut y avoir de doute sur ce fait quand on considère la formation graduelle de la jeune substance osseuse autour des cellules du cartilage, tant qu'il n'y a pas encore de corpuscules osseux rayonnés, ou dans les cas où ceux-ci ne se forment jamais, comme chez la plupart des poissons cartilagineux. On voit bien alors tout ce que demande H. Müller, c'est-à-dire que, dans les circonstances où sont des groupes de deux, trois ou un plus grand nombre de cellules cartilagineuses, ou aussi lorsqu'il n'y a qu'une cellule cartilagineuse isolée, on les voit entourées non plus par la substance intercellulaire du cartilage, mais par de l'os jeune ; on voit aussi de ces groupes reliés par des rayons de cette même substance, qui s'arrête nettement contre la substance fondamentale cartilagineuse non modifiée ; on voit enfin ces groupes en continuation avec de l'os complet. En outre, on observe aussi les mêmes phénomènes sur les cornes de cerf, quand elles ne sont pas encore entièrement ossifiées. »

« On trouve ici les *glomeruli* au milieu du cartilage calcifié ou des groupes réunis ensemble de ceux-ci contenant deux

ou trois corpuscules osseux radiés, en continuité de substance avec la masse principale de l'os par un prolongement rétréci de matière osseuse complète; on trouve aussi là des demi-corpuscules osseux comme en figure H. Müller, et des espaces incomplétement remplis, mais où, par comparaison avec ceux-ci qui sont pleins, il devient clair qu'ils appartiennent à ces corpuscules. »

Les descriptions de Lieberkühn confirment en tous points aussi ce que j'ai dit sur la génération des ostéoplastes et sur la formation des cavités médullaires. Il s'exprime ainsi sur ce sujet : « La substance osseuse naissant des cartilages hyalins se résorbe en grande partie dans les os longs pendant l'accroissement; en même temps, à sa place, se forment les espaces médullaires (p. 706). » Et plus loin il ajoute (p. 756) : « Au commencement de la formation des cavités osseuses, les cavités cartilagineuses ne communiquent jamais ensemble, mais elles sont complétement closes l'une contre l'autre; seulement, quand les espaces médullaires se produisent, une communication peut s'établir, mais alors là il ne forme pas d'os, mais des espaces médullaires. Ce qui a été décrit par H. Müller comme période de la formation des corpuscules osseux, c'est-à-dire comme des cellules étoilées à moitié incluses dans une excavation des os, tandis que l'autre moitié est librement saillante au dehors, est seulement un produit de l'art; pendant l'ossification, ces particularités peuvent être observées assez souvent dans les cornes de cerf en voie d'ossification; mais la comparaison avec les préparations de substance entièrement formée apprend en même temps qu'ici, chaque fois que la substance osseuse est entraînée, les cavités osseuses

closes depuis longtemps sont accidentellement ouvertes de nouveau. »

§ VII. — *Applications des données précédentes.*

Ce dernier paragraphe nous amène de l'étude des phénomènes relatés plus haut à celle des faits que permet d'observer l'inflammation des os.

Tout phlegmon est précédé d'une période congestive du tissu lamineux; toute mortification du tissu osseux suit également une congestion analogue de ses capillaires.

Dans le premier cas naissent des éléments fibro-plastiques autour du tissu lamineux où a lieu la suppuration.

Dans le second, au bout de quelques jours à peine, apparaît, autour de ce tissu osseux congestionné, une nouvelle couche de substance entre le périoste et l'os qui va bientôt cesser de vivre : c'est l'os lui-même qui a fourni de l'os, et cela ou sur un ou sur plusieurs points limités en plaques irrégulières ou bien dans la totalité de la surface de la diaphyse. Quand la mortification est complète, on peut enlever le séquestre, et l'os de nouvelle formation reste adhérent (sous forme de couche plus ou moins épaisse) au périoste qu'il a soulevé.

Durant ces différentes phases, le périoste a pris une plus grande épaisseur, due à la congestion des vaisseaux, et c'est cette mortification qui avait fait croire que cette membrane s'épaississait pour *sécréter* l'os avec plus d'énergie. La nouvelle couche s'est développée à la surface de l'os nécrosé lui-même, et en procédant de sa propre substance pendant

les premières phases de sa congestion, et cela en suivant toutes les phases de la génération première susindiquée que parcourt, lors de son apparition, la substance des os non précédés d'un cartilage de même forme. (Voy. Ch. Robin, *Journal de l'anatomie*, 1864, p. 384 et suiv.)

Ce sont les mêmes phénomènes qui se reproduisent après l'*évidement* des os : l'amincissement de la substance compacte, après la perforation du canal de la moelle, etc., sont autant de conditions dans lesquelles se manifeste une vive congestion suivie de nécrose et de l'apparition (à la surface de l'os qui deviendra séquestre) d'une couche nouvelle périphérique, résultant de la congestion que les manœuvres ont amenée dans le tissu osseux : le périoste est étranger à cette formation nouvelle qui le soulève, et pour laquelle il reste comme avant une simple couche de tissu lamineux, dans lequel les vaisseaux se subdivisent en capillaires avant de pénétrer plus avant, ainsi que le fait la pie-mère pour la substance des circonvolutions cérébrales.

Cette couche osseuse n'est pas toujours uniforme, continue avec elle-même partout, mais de petites plaques irrégulières éparses larges de quelques millimètres suffisent pour que l'os se régénère, en tant que tibia, péroné, etc., après l'ablation de l'os primitif sous-jacent nécrosé.

Lorsque, pour opérer une greffe périostique, on a enlevé une portion de cette dernière membrane pour la transplanter autre part, l'observation montre qu'on emporte avec elle et adhérente à sa face profonde la couche mince de quelques centièmes de millimètre de substance osseuse en voie de formation ou de récente génération appartenant à l'os et non au périoste ; cette mince couche n'existe plus passé l'âge

de vingt à vingt-cinq ans, sauf le cas où une ostéite de cause soit accidentelle, soit thérapeutique, comme dans le cas de l'évidement de M. Sédillot, est venue ramener sa production ; cette production est due à l'os qui précède le passage de celui-ci à l'état de sequestre ; elle a lieu du côté de la substance osseuse et par elle, comme en même temps a lieu, tout contre, l'épaississement du tissu périostique par multiplication de ses propres éléments ; et cela en raison des mêmes causes générales d'afflux sanguin, qui ont aussi causé l'hypergénèse osseuse. En d'autres termes, l'os fait de l'os, comme le nerf coupé fait du nerf, comme le périoste congestionné fait des éléments semblables aux siens, dont la suraddition amène l'épaississement de la couche ainsi nommée, sans qu'il y ait ici plus que là un autre tissu chargé d'en fournir les éléments primitifs tout formés, sans qu'il y ait d'avance des éléments ou cellules jusque-là inutiles ou indifférents n'attendant que l'occasion de se transformer pour devenir actifs et utiles.

L'observation infirme l'admission hypothétique de l'existence de ces cellules dites *cellules embryonnaires de l'os ou du périoste*. Les éléments décrits sous ce nom sont des cellules de tissu médullaire qu'on retrouve le long des petits vaisseaux des os dans les *canaux de Havers* jusqu'au périoste, mais sans qu'ils forment une couche sous-périostique. Dans les transplantations périostiques, en enlevant le périoste sur des animaux non adultes, on enlève de l'os une couche très-mince, en voie d'évolution, et avec elle les éléments de la moelle contenus dans ses conduits vasculaires et dans ses aréoles médullaires. (Voy. Ch. Robin, *Journal de l'anatomie,* 1864, p. 516 et 595.)

Mais il est certain que, dans tous les os, les éléments de la moelle naissent après la substance osseuse, au fur et à mesure que celle-ci se résorbe en certains points. Cette génération primitive est même très-tardive dans certains os, tels que les os plats, les maxillaires, les os de la voûte crânienne, etc. Aussi ne saurait-on, en aucune manière, considérer, avec quelques auteurs, ces éléments médullaires comme formateurs des os ou capables de se transformer en os, alors qu'ils ne naissent que là où la substance osseuse se résorbe pour faire place à des vaisseaux et à la moelle même, alors aussi que nulle part, sur chaque os envisagé isolément sur le fœtus, on ne peut voir, pas plus que chez l'adulte, l'incrustation de ces cellules et leur passage à l'état d'os.

Je ne ferai (Voy. *Comptes rendus et Mémoires de la Société de biologie*, Paris, 1864), à propos des propriétés physiologiques de la moelle, que ces seules remarques : La moelle naît après le tissu osseux ; le tissu osseux commence par être compacte, même lorsqu'il s'agit des os longs, et ce n'est qu'à la suite de la résorption des parties centrales d'un os long, et au fur et à mesure qu'a lieu cette résorption, que se produisent des cavités qui se remplissent immédiatement de moelle. Ainsi, ce tissu naît très-tard par rapport à l'apparition des premiers tissus qui viennent former l'embryon ; de sorte qu'il est impossible, matériellement parlant, d'admettre que le tissu médullaire provient des cellules embryonnaires, comme semblent le supposer quelques auteurs qui voudraient rattacher par un lien généalogique direct la génération de tous les éléments anatomiques aux cellules provenant de la segmentation du vitellus. C'est là un fait des plus remarquables pour la génération des éléments anatomiques de voir que, partout

où existe du tissu osseux compacte, lorsqu'il s'y produit des cavités par résorption, il naît dans ces cavités, et de toutes pièces, molécule à molécule, des médullocelles, des myéloplaxes et de la substance amorphe.

Ainsi l'os qui grandit ou se reproduit vient non pas du périoste, mais de l'os lui-même.

« La substance osseuse se forme par un dépôt de sels terreux dans une trame cartilagineuse homogène, au fur et à mesure qu'a lieu la formation de celle-ci ; elle est à peine formée, qu'elle est envahie par les sels terreux, et, au fur et à mesure, elle envahit elle-même les tissus voisins, d'où agrandissement de l'os. L'organe, dans ce cas, n'est pas précédé, pendant un certain temps, par un cartilage qui en représente à peu près la forme, comme dans le premier cas. C'est la *formation par envahissement*. Ce mode de formation est propre à la plupart des os de la tête, tant pour leur apparition primitive que pour leur agrandissement consécutif; c'est en outre par ce mode que s'agrandissent, consécutivement à leur apparition, les os qui se sont formés par substitution à un cartilage préexistant. La formation par envahissement a lieu, en effet, dans les pariétaux, le frontal, l'occipital, moins les condyles et l'apophyse basilaire; la partie écailleuse du temporal et l'apophyse zygomatique, l'anneau tympanique, les petites ailes du sphénoïde, la partie mince des grandes ailes, l'ethmoïde, les cornets du nez et tous les autres os de la tête, même les maxillaires supérieur et inferieur, moins le condyle et la portion de la branche verticale qui le supporte...

« La formation par envahissement a lieu en outre dans tous les os qui ont été précédés d'un cartilage, dès que le périchondre est devenu périoste, dès que tout le cartilage

préexistant est devenu os. C'est de la sorte que se fait l'accroissement en volume des os. Ici donc l'os, qui avait commencé par substitution de la matière osseuse au cartilage, grandit par envahissement. » (Ch. Robin, *Observations sur le développement de la substance et du tissu des os*. Comptes rendus et mémoires de la Société de biologie, 1850, in-8°, p. 124.)

« Cette *trame cartilagineuse*, qui envahit peu à peu une place occupée d'abord par d'autres tissus, et se remplit au fur et à mesure d'un dépôt phosphatique, diffère un peu du cartilage proprement dit. On y distingue, comme dans le cartilage, une *substance fondamentale* creusée de *cavités*. La substance fondamentale diffère de celle du cartilage ordinaire par sa coloration légèrement ambrée, jaunâtre; elle paraît moins homogène, surtout pour les os du crâne, ce qui tient à ce qu'on voit les surfaces libres de la substance, lesquelles sont toujours un peu irrégulières. Les cavités surtout diffèrent de celles des cartilages; elles n'ont guère que $0^{mm},010$ à $0^{mm},020$ de largeur en tous sens, c'est-à-dire un diamètre en général au moins de moitié plus petit que celui des cavités des autres cartilages, sauf les cavités de la surface des cartilages articulaires; elles sont à peu près d'égal diamètre en tout sens dans les os du crâne, et un peu allongées dans ceux des membres en voie d'accroissement (p. 125).

« Je dis *formation osseuse par substitution*, parce qu'un tissu *se substitue* à un autre qui existait, et *formation par envahissement*, parce que la trame cartilagineuse et l'os envahissent une place où ni cartilage ni os n'existaient (1). Ils

(1) « Ainsi ce n'est pas du périoste, mais de l'os lui-même que part la for-

envahissent cette place en repoussant et prenant la place d'autres tissus, lesquels se résorbent et s'accroissent du côté opposé (p. 127). »

---

mation du cal. » (Littré et Robin, *Dict. de médecine*, 10e édition, 1855, art. *Cal*, p. 192, et éditions 11e et 12e.) Ce qui est pour la régénération des os rompus, est, à plus forte raison, du cas où un état congestif, etc., amène la régénération d'un os sur toute la surface de celui-ci. (Voy. aussi l'art. *Périoste* des éditions 11e et 12e de ce *Dictionnaire*.)

CHAPITRE III.

Du contenu des cavités intervertébrales après leur formation.

Nous avons vu précédemment que les cavités intervertébrales se forment par dilatation de la notocorde, dont les cellules se multiplient par segmentation à ce niveau. Lorsque le point d'ossification central du corps des vertèbres apparaît, et même avant, la paroi propre hyaline transparente de la corde dorsale, qui était facile à voir et à isoler, disparaît complétement. On ne peut plus en démontrer la présence, ni dans le rachis proprement dit, ni dans la portion coccygienne de la colonne vertébrale.

En même temps qu'a lieu cette dilatation, ou un peu après, le liquide normalement interposé entre le cordon celluleux de la notocorde et son enveloppe augmente beaucoup de quantité, puis à cette époque, sur le lapin, mais vers le troisième mois seulement chez le fœtus humain, on voit les cellules ne plus former un cordon ou un amas unique dans la cavité. Le cordon celluleux et le renflement qu'il présente

à ce niveau se partagent en plusieurs groupes ou amas de cellules flottant dans le liquide visqueux, transparent, de la cavité intervertébrale. Quelques cellules isolées y flottent librement aussi.

Ce liquide ou plutôt cette matière demi-liquide visqueuse continue à être semblable à celle qui existait dans la gaîne de la notocorde ; elle est seulement plus abondante et n'a fait qu'augmenter de quantité, en même temps que la dilatation de la cavité qui entoure et contient le cordon celluleux de la corde dorsale. A quelques différences secondaires près, dues aux modifications graduelles des cellules qui flottent au milieu d'elle, la similitude de cette matière avec celle qui se trouve dans la gaîne de la notocorde se conserve pendant toute la durée de son existence. C'est donc la même matière qui existe dès l'âge embryonnaire, mais qui augmente de quantité au fur et à mesure qu'a lieu l'accroissement.

Dès leur formation, les amas de cellules provenant de la dissociation du cordon celluleux de la notocorde et de la multiplication de celles-là sont arrondis ou ovoïdes (pl. XI, fig. 49, 50, 52 et 54), constitués par la réunion de 4 à 10 cellules environ immédiatement contiguës les unes aux autres. Il est de ces amas qui sont allongés, prolongés en pointe à une de leurs extrémités, par suite de la juxtaposition en série de deux ou trois cellules placées l'une à la suite de l'autre.

D'autres groupes sont formés d'un plus grand nombre de cellules, mais ne sont point encore assez gros pour qu'ils soient apercevables à l'œil ou sous forme de petits grains grisâtres, comme plus tard ; ils sont ovoïdes ou allongés, cylindriques, un peu effilés à leurs deux bouts. Il est impossible

de voir encore à cet âge la disposition que postérieurement les cellules présenteront à la périphérie de la cavité (1).

Du deuxième au troisième mois de la vie intra-utérine, les cavités se montrent sur la coupe des disques comme un point transparent, large de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ millimètre, selon qu'on l'examine aux extrémités ou au centre du rachis.

A cette époque, la face interne de la cavité cesse d'être lisse; elle devient aréolaire et présente déjà des prolongements villeux, fibreux ou fibro-cartilagineux, offrant les dispositions les plus variées et les plus élégantes et que je n'ai pas à décrire ici (2). Ces prolongements plongent dans la cavité, au sein de la substance gélatiniforme, entre les amas de cellules, et on enlève souvent le tout en même temps. En outre, la substance gélatineuse et ses cellules propres remplissent les aréoles de la périphérie de la cavité. Ces dernières sont circonscrites par des faisceaux, les uns fibreux, les

---

(1) Luschka (*loc. cit.*, p. 50) considère la substance gélatineuse, homogène, visqueuse, dans laquelle sont plongés les amas de cellules et les cellules isolées, comme une substance intercellulaire, une sorte de substance unissante sans structure, qui devient plus tard la trame d'un tissu fibrillaire. Mais cette matière ne saurait être comparée aux substances amorphes qu'on trouve souvent interposées aux cellules ou aux fibres de divers tissus. Son existence dans la gaîne de la notocorde entre cette gaîne et le cordon celluleux, et non entre les cellules, montrent que ce n'est pas une substance amorphe unissante intercellulaire; elle n'existe pas non plus entre les cellules de chacun des amas qui viennent d'être décrits, mais c'est dans cette matière gélatineuse, demi-liquide, que flottent les groupes de cellules qui proviennent de la dissociation du cordon celluleux; elle est donc plutôt analogue à une humeur telle que la synovie, etc., sans être identique pourtant à ce liquide.

(2) Ils ont été étudiés avec le plus grand soin par Luschka (Die *Halbgelenke*. Berlin, 1858, in-8°, p. 45 et suiv., pl. III, fig. 6,7, etc.).

autres fibro-cartilagineux, dont se détachent ou non des villosités de même nature ; par places elles sont circonscrites par des fibres lamineuses isolées, entre-croisées de diverses manières.

Ces aréoles qui, à partir de cet âge, se retrouvent tant que la cavité persiste, offrent des dispositions d'une grande élégance et d'une grande délicatesse ; à mesure que le sujet avance en âge, elles deviennent plus nombreuses, plus profondes, par rapport au centre de la cavité, et lorsque celle-ci se rétrécit, elles empiètent de plus en plus dans sa profondeur.

A cet âge (trois mois), le contenu de la cavité est gélatineux et assez ferme pour glisser entre les deux lames de verre, et ne s'aplatit pas sous l'influence de leur seule pression. Ce contenu est transparent, un peu blanchâtre, et s'enlève en entier sous forme d'une petite masse lenticulaire, lorsqu'on râcle la cavité du disque avec un instrument mousse (1).

---

(1) Les cellules que contient cette substance pulpeuse des disques intervertébraux ont été vues et figurées d'abord par Tood et Bowman (*Physiological anatomy*, London, 1845 ; in-8°, 1re livraison, p. 95, fig. 17, *e, f*) sans dénomination spéciale. Donders a, peu après, bien étudié les cellules de la *substance comparable au corps vitré des disques intervertébraux* chez le fœtus déjà développé ; il a montré qu'elles sont réunies en groupes, se gonflent beaucoup par l'action de l'eau, deviennent rondes et isolées. Elles ont un noyau et un nucléole, et ne montrent pas de génération endogène. En approchant de la périphérie elles sont disposées en séries et deviennent plus petites. (Donders. *Beitraege hollandische zuden anatomischen and physiologischen Wissenschaften.* Utrecht, 1837 ; in-8°, t. I, p. 164.) Depuis lors elles ont été signalées par quel-

A cette époque de la vie intra-utérine, les cellules sont contiguës et pressées les unes contre les autres à la périphérie de la cavité et disposées comme des cellules épithéliales. Toutes sont polyédriques par pression réciproque et forment ainsi une couche ou masse grisâtre adhérente à la face interne de la paroi, (fig. 6 *abcd* fig. 7 *hij* et fig. 8). Cette couche se prolonge sous forme de série ou d'amas allongés, simples ou ramifiés (fig. 9) vers le centre de la cavité. Ces séries de cellules peuvent être formées d'une seule rangée (*bcd*) ou disposées plusieurs les unes à côté des autres, et subdivisées (*f*) ou non. Il résulte de ces dispositions un aspect très-élégant pour l'ensemble de ces prolongements. Parfois ce sont des amas arrondis ou ovoïdes que l'on voit appendus au bout d'une série de cellules (fig. 9 *a*) ou rattachés directement par une sorte de pédicule étroit, également formé de cellules, à la couche de celles-ci (fig. 6, 7 et 8), qui adhère à la face interne de la cavité.

Dans la partie centrale de cette dernière, ce sont quelques cellules isolées et surtout des amas de cellules que l'on trouve plongés dans la substance demi-fluide transparente dont il a déjà été question. Ces amas sont semblables à ceux qui ont été signalés ci-dessus ; mais il en est quelques-uns qui sont assez gros pour être facilement apercevables à l'œil nu sous forme de petits grains grisâtres ou blanchâtres demi-transparents. Il en est d'arrondis, d'ovoïdes, d'autres en forme de

---

ques auteurs ; je les ai appelées *cellules propres de la substance gélatineuse des disques intervertébraux.* (Dictionnaire de médecine, 10e édition, par Littré et Robin ; Paris, 1854-1855, p. 448, 2e colonne, n° 12.)

massue, de cylindriques (pl. XI, fig. 53), prolongés ou non en pointe à leurs bouts; parmi ces derniers, on en voit qui sont presque intestiniformes, recourbés. La plupart sont d'aspect très-élégant, surtout quand les cellules de leur périphérie sont toutes sphéroïdales ou allongées en cône (pl. XI, fig. 49 *a*), portion libre de leur surface, et particulièrement quand un certain nombre d'entre elles renferment déjà quelques vacuoles pleines d'une substance sarcodique homogène, rosée ou jaunâtre (fig. 53 *bcde* et fig. 55 *cd*). On trouve quelquefois deux ou trois de ces amas qui tiennent les uns aux autres par quelques cellules disposées en séries qui les relient ensemble (1).

Autour de quelques-uns de ces amas de cellules, surtout

---

(1) Luschka décrit (*Die Holbgebuke,* Berlin, 1858, in-4°, p. 49-50) imparfaitement les cellules, faute de se rendre compte de la nature réelle des gouttes sarcodiques claires et homogènes, qu'il considère comme un contenu ordinaire de cellules. Il décrit les groupes, ou amas de cellules, comme étant les uns sans enveloppe propre (ce qui est en réalité l'ordinaire), les autres comme entourés d'une couche enveloppante, qui serait un produit de sécrétion de la masse; c'est sans doute à la couche d'aspect muqueux décrite plus haut que se rapporte ce qu'il dit. Il admet, en outre, comme non douteux qu'il y a des groupes entourés d'une paroi qui représenterait une cellule mère, laquelle, par génération endogène résultant de la segmentation égale de son contenu, donnerait naissance à tout le groupe. Nous avons vu que le mode d'apparition des cellules et des groupes de cellules chez les très-jeunes sujets contredit complétement cette interprétation. L'eau, en gonflant les cellules individuellement, en déterminant sur plusieurs la rupture de leur enveloppe et permettant de la voir nettement, montre les cellules faisant saillie immédiatement à la surface de tous les groupes sans repousser cette prétendue enveloppe jouant le rôle de cellule-mère, comme elle le ferait si elle existait; ce fait concourt aussi bien que l'examen direct à démontrer son absence.

de ceux qui sont allongés ou ovoïdes, on aperçoit avec un peu d'attention une substance transparente, d'aspect muqueux, légèrement striée, visqueuse, plus dense encore que le fluide gélatineux dans lequel flottent les cellules. Elle forme une couche qui enveloppe les amas d'une manière immédiate, flotte avec eux et en dépasse le contour surtout à leurs extrémités (fig. 55 *a b* et fig. 16). Là son aspect, finement strié, est plus nettement visible qu'ailleurs, parce qu'elle y est plus épaisse et y forme parfois une sorte de prolongement; mais à la circonférence, ces stries ne se voient pas toujours. Cette enveloppe, d'aspect muqueux, n'est pas une paroi propre; elle est molle, se gonfle et finit par disparaître au contact de l'eau à la manière des mucus, lorsque celle-ci les liquéfie. Elle ne représente certainement rien autre chose qu'une exsudation des cellules agglomérées ou une sorte d'épaississement et de condensation de la matière visqueuse hyaline autour de ces amas de cellules.

Çà et là, dans la couche des cellules qui se pressent à la périphérie de la cavité ou dilatation intervertébrale, on voit de grands globules transparents, larges de 3 à 8 centièmes de millimètre (pl. XI, fig. 53 *g g g* et fig. 54 *a*). Ils sont sphériques ou ovoïdes, mous, diffluents, et disparaissent dans le liquide visqueux de la préparation sans pouvoir être isolés, lorsqu'on détache par dilacération les cellules qui les circonscrivent. Dans les lambeaux du tissu grisâtre qui les entourait et formé de cellules juxtaposées, celles-ci conservent parfois après la dilacération la disposition régulière qu'elles avaient autour d'eux (fig. 7 *h*).

Il n'est pas rare de trouver un ou plusieurs globules pâles semblables aux précédents, au milieu des amas sphériques,

ovoïdes ou allongés, qui flottent dans la substance gélatineuse des disques intervertébraux (fig. 9, 10, 14, 15, 18, 19 et 20). Ces globules pâles sont plus ou moins difficiles à distinguer, selon que ces amas sont plus ou moins gros, ou formés par des cellules granuleuses ou non (pl. XI, fig. 52 *a*). Ils sont entourés de toutes parts par les cellules, et ce sont parfois celles qui les avoisinent immédiatement qui offrent le plus de granulations et qui rendent ces amas plus ou moins foncés et même parfois presque opaques sous le microscope (fig. 15).

Du quatrième au cinquième mois, on trouve encore les mêmes dispositions que celles qui viennent d'être décrites, mais la matière gélatiniforme des cavités est plus molle qu'aux époques antérieures, à l'exception de celles du sacrum et du coccyx. Les amas de cellules qui sont libres et flottants sont plus nombreux; il en est davantage qui sont visibles à l'œil nu. Les cellules pourvues de vacuoles pleines de matière sarcodique sont plus abondantes et ces vacuoles sont plus nombreuses.

Du cinquième au huitième mois, les cavités intervertébrales, très-petites au coccyx et au sacrum, deviennent subitement larges de 1 millimètre entre la première sacrée et la cinquième lombaire. Elles diminuent à la colonne dorsale et au cou entre les vertèbres dès qu'elles n'ont plus que $\frac{1}{3}$ millimètre. Le contenu de chaque cavité se présente sous forme d'une petite masse gélatiniforme, qui tranche comme un point clair et brillant sur la teinte blanche et mate du disque interarticulaire. La cavité est alors lenticulaire, plus large que haute, et le contenu s'en échappe tout entier par la pression sous forme d'un petit grain arrondi.

Dans le sacrum et surtout dans le coccyx, les cavités sont aussi lenticulaires, mais de moitié aux trois quarts plus petites. Le contenu a le même aspect, mais il est plus ferme et n'est pas visqueux, demi-liquide, comme dans les vertèbres lombaires. Ce contenu s'enlève en entier par le râclage sous forme d'une petite masse transparente, que la pression des lames de verre de la préparation n'éparpille pas en petits grains grisâtres dans un liquide visqueux, comme ce fait a lieu pour la matière des cavités intervertébrales lombaires. Ce contenu est formé presque entièrement de cellules pressées les unes contre les autres; il n'y a de liquide visqueux et quelques groupes globuleux que vers leur partie centrale. Les cellules réunies en couche à la périphérie de la cavité sont généralement petites et polyédriques (comme dans la fig. 39, pl. IX). Il y en a d'isolées au centre, qui sont arrondies, avec ou sans vacuoles sarcodiques (pl. X, fig. 47 *a b*).

Dans le contenu visqueux des cavités lombaires, dorsales et cervicales, que la simple pression de la lamelle de verre supérieure éparpille en couche incolore parsemée de grains grisâtres, on trouve des cellules isolées semblables aux précédentes et d'autres qui sont polyédriques à angles arrondis, laissant exsuder rapidement des gouttes sarcodiques claires incolores, qui bientôt s'étranglent à leur point d'adhérence avec la cellule (pl. XI, fig. 50 *ab*), deviennent libres et entraînent des noyaux d'un assez grand nombre de celles-ci (*g i*).

Les petits grains grisâtres apercevables à l'œil nu ont environ $\frac{1}{10}$ de millimètre et sont mêlés d'autres plus petits de même forme. Ces grains sont semblables à ceux décrits précédemment; les globules clairs centraux se voient

sur un certain nombre d'entre eux et sont difficiles à distinguer. Beaucoup de ces groupes ont à leur périphérie des cellules allongées (fig. 49 *a* et pl. X, fig. 47 *e*) ou saillantes isolément à côté d'autres plus régulièrement juxtaposées (fig. 48 *a b c*). Ces particularités leur donnent un aspect un peu différent de celui des autres amas. On trouve des amas qui sont encore réunis par des traînées de cellules (fig. 45 *a b e f*). Beaucoup de cellules contiennent ou montrent la formation des vacuoles sarcodiques décrites plus haut, les unes très-petites, les autres grandes (fig. 40 et pl. XI, fig. 58); toutes ces cellules laissent exsuder beaucoup de gouttes sarcodiques, et rapidement dès que le liquide de la préparation commence à s'évaporer. La glycérine fait suinter aussi cette substance sarcodique sous forme de gouttelettes rosées; alors les amas de cellules deviennent un peu plus petits et plus foncés qu'ils n'étaient, les cellules y sont plus distinctes, et les globes centraux clairs également, lorsqu'ils existent.

Après la naissance, la face interne de la cavité des disques est comme pulpeuse dans toutes les cavités lombaires, dorsales et cervicales; elle présente alors beaucoup de prolongements villeux, fibreux ou fibro-cartilagineux, plongeant dans le contenu.

Les cellules libres et les groupes qu'elles forment sont semblables à ceux qui ont été décrits plus haut. Mais il y en a davantage qui renferment des gouttes sarcodiques; celles-ci sont plus grandes et, dans les amas, les cellules sont devenues plus granuleuses, cohérentes, difficiles à distinguer les unes des autres, avant que l'eau les ait gonflées.

Vers la deuxième année, on voit dans le coccyx la cavité des disques intervertébraux plus grande qu'elle n'était à la

naissance, mais plus petite que dans les disques qui séparent les pièces du sacrum. A partir de cette époque jusqu'à celle de la soudure de ces pièces ensemble, la cavité se trouve de plus en plus proche de la face antérieure du coccyx. Son contenu est moins mou, plus élastique, plus grisâtre qu'auparavant. Il est formé des cellules déjà signalées, contiguës, rapprochées, un peu plus grandes vers le centre qu'à la circonférence; le fibro-cartilage se prolonge entre elles et leur est immédiatement contigu. Presque partout ces cellules sont plus pâles qu'aux périodes antérieures et sans vacuoles sarcodiques. Du reste, l'eau les gonfle peu à peu et l'acide acétique les rend granuleuses, les flétrit, comme il le fait sur celles des cavités intervertébrales des lombes ou du dos.

Des fibres lamineuses, d'autant plus abondantes que l'enfant est plus âgé, et bientôt accompagnées de matière amorphe finement granuleuse, traversent çà et là la masse des cellules et remplacent la matière amorphe demi-liquide dans laquelle plongeaient les amas de cellules à un âge moins avancé. De la sorte la cavité est à peu près comblée et son contenu remplacé par du fibro-cartilage semblable à celui qui est interposé aux pièces du coccyx, fibro-cartilage qui s'ossifiera peu à peu plus tard. Vers cinq ou six ans, on trouve les cavités des disques des trois ou quatre dernières pièces du sacrum s'oblitérant de la même manière, et leur contenu arrivé au même état. Peu à peu, à mesure que l'enfant avance en âge, ou sur un même sujet, en prenant des pièces du sacrum de plus en plus rapprochées du coccyx, les fibres de ce fibro-cartilage, qui remplace le contenu des cavités, circonscrivent des espaces de plus en plus étroits, régulièrement anguleux et polyédriques. Les bords des fragments de ce tissu dilacéré

sous le microscope montrent que ces espaces sont pleins d'une substance amorphe, homogène, finement granuleuse, transparente. Dans cette substance, au centre de la plupart des espaces ou à peu près, se trouvent une ou plusieurs cellules cartilagineuses, arrondies ou irrégulières. Les fibres de ce fibro-cartilage sont fines, pâles, isolées ou plusieurs sont ensemble, mais non contiguës sous forme de faisceaux. Parfois des traînées de fines granulations les accompagnent.

Çà et là on voit encore dans cette substance grisâtre, molle, qui remplace le contenu gélatineux des cavités, quelques rangées de cellules polyédriques, semblables à celles dont l'existence a été signalée précédemment, ou des noyaux nombreux semblables à ceux de ces dernières, plongés dans la substance amorphe finement granuleuse signalée ci-dessus.

Cette substance grisâtre, molle, élastique, ayant perdu son état gélatineux, occupe encore une cavité bien limitée, lenticulaire, large de 1 à 4 millimètres selon la grandeur des pièces du sacrum entre lesquelles on l'étudie. Mais à cette époque (cinq ou six ans), dès l'intervalle de la deuxième et de la première vertèbre sacrée, la cavité devient énorme par comparaison et remplie de substance gélatiniforme demi-liquide, visqueuse; ces caractères sont encore bien plus tranchés dans la cavité du disque qui sépare le sacrum de la cinquième vertèbre lombaire.

En examinant les cavités intervertébrales de bas en haut, du coccyx vers le sacrum, on peut constater que c'est par la portion postérieure plutôt que dans toute l'étendue de la cavité à la fois que la substance grisâtre devenant fibro-cartilagineuse, envahit celle-ci; c'est d'arrière en avant qu'elle la rétrécit; elle est d'autant moins transparente, d'autant plus

grisâtre, que le sujet est plus âgé, de même que la cavité ou portion de cavité encore pleine de matière gélatineuse est d'autant plus grande qu'en partant du coccyx ou des dernières vertèbres sacrées on approche plus de la première.

Dès l'intervalle de la première sacrée et de la dernière lombaire, la substance molle se montre abondante, et les cellules pleines de gouttes sarcodiques distendues par elles ; elles sont ainsi rendues souvent tout à fait méconnaissables, surtout dans les amas (pl. XI, fig. 55 et 56), où elles sont serrées, tant que l'eau ne les a pas gonflées. Sur les amas, à cet âge on trouve un certain nombre de noyaux libres qui leur adhèrent (fig. 56 *b* et fig. 57 *a b*). Les mêmes particularités s'observent dans les cavités des disques cervicaux. Mais dans celles des disques dorsaux, les cavités sont plus petites, les cellules des amas plus granuleuses, grisâtres, et moins creusées de vacuoles sarcodiques (fig. 56).

Du reste, partout quelques amas se trouvent enveloppés d'une substance muqueuse, finement striée (pl. X, fig. 48 *d, e*), surtout aux bouts des groupes contenant parfois des gouttes sarcodiques libres, exsudées par les cellules (pl. XII, fig. 59, *b c*). Les grains grisâtres, visibles à l'œil nu, qui sont plongés dans la substance gélatineuse demi-liquide, homogène, sont larges de $\frac{1}{10}$ à $\frac{5}{10}$ de millimètre et plus, dès l'âge de trois ou quatre ans, et les cavités intervertébrales ont à cette époque un diamètre transversal de 2 à 3 millimètres. Les cellules de ces amas sont très-distendues par une ou par plusieurs gouttes sarcodiques, ce qui leur donne un aspect bizarre (pl. XI, fig. 55, et pl. X, fig. 48).

Lorsque la préparation est faite depuis quelque temps, on voit ces grandes gouttes suinter en gouttelettes très-

nombreuses, pâles, formant une véritable poussière de fines gouttes liquides assez denses. Les amas de cellules deviennent irréguliers, comme flétris, lorsque par ce suintement les cellules sont entièrement vidées. Quelques-unes de celles-ci, soit libres, soit réunies en amas perdent leur noyau, et dans celles qui le possèdent encore, sa circonférence est moins nette qu'à l'ordinaire (pl. XI, fig. 57). J'ai déjà dit que l'eau gonfle beaucoup les cellules et leur noyau, les rend vésiculeuses et détermine l'issue des gouttes sarcodiques (*c d*), fait qui correspond au gonflement considérable que la substance gélatineuse des disques intervertébraux acquiert au contact de l'eau. A la surface de ces amas gonflés devenus vésiculeux restent adhérents des noyaux libres plus ou moins granuleux (*a b*), semblables à ceux des cellules avant l'action de l'eau, mais se gonflant plus tard peu à peu.

Lorsque l'on étudie successivement sur les disques d'une même colonne vertébrale les phases de la putréfaction de la sub an ce gélatineuse, on voit le suintement des gouttes sarcodiques devenir de plus en plus prononcé. Lorsque les tissus entourant la colonne vertébrale entrent en pleine putréfaction, les gouttes sarcodiques rosées n'existent plus. Une partie des amas de cellules offre à peu près l'aspect qu'ils ont après l'action de l'eau ; les cellules sont devenues claires, plus grosses qu'elles n'étaient, globuleuses ou polyédriques par pression réciproque. Beaucoup d'amas ressemblent à ceux dont les cellules se sont crevées après avoir été gonflées par l'eau ; ils ne sont plus formés que par des cellules plissées, granuleuses, irrégulières. Presque tous ces groupes de cellules renferment à leur centre un grand globule, clair,

et à la manière dont il est entouré par les cellules, il semble être le produit de l'exsudation de celles-ci. Il existe alors autour des amas une foule de gouttelettes sarcodiques.

A partir de l'âge de sept ou huit ans jusqu'à l'époque où les cavités intervertébrales disparaissent, les groupes de cellules conservent la même forme et le même volume, mais le noyau et le corps des cellules y sont entièrement méconnaissables, par suite du grand nombre de gouttes sarcodiques qui les distendent (pl. XII, fig. 59 *b c*). Les unes de ces gouttes sont très-grosses, les autres très-fines. Elles sont plus denses qu'elles n'étaient aux époques antérieures, plus jaunâtres et réfractent plus fortement la lumière, de sorte que leur contour est devenu plus foncé qu'il n'était auparavant. Beaucoup de ces gouttes sorties des cellules entourent les amas de cellules et leur adhèrent, plongées dans la substance muqueuse finement striée, qui enveloppe la plupart des groupes. On trouve en outre un nombre considérable de ces gouttes flottant librement dans le liquide gélatineux des cavités. Elles y présentent les dimensions et les figures les plus diverses, arrondies, ovoïdes, en forme de larmes bataviques, de cylindre droit ou courbe à extrémités mousses ou effilées. Ces gouttes sont presque demi-solides, isolées ou réunies, souvent disposées en traînées ou séries, donnant à la préparation un aspect tout particulier, en raison de leur nombre, de leur forme, de leur homogénéité, etc. (1).

---

(1) Virchow décrit les restes de la corde dorsale, la substance molle des disques intervertébraux comme formée de groupes cellulaires, vésiculeux, plus ou moins gros et d'une substance claire en général, homogène, mélangée de

Les cellules isolées ou réunies au nombre de 2 ou 3 qui flottent dans le liquide gélatineux des cavités (pl. XII, fig. 59 *defgh*) sont plus reconnaissables que celles qui sont dans les amas et les constituent; néanmoins leur distension par des gouttes sarcodiques nombreuses, de volume et de forme différents les rendent assez dissemblables de ce qu'elles étaient antérieurement. On en trouve aussi un certain nombre qui sont plus ou moins irrégulières, granuleuses, sans vacuoles (fig. 24). Celles qui renferment des gouttes dans leur intérieur sont généralement entourées aussi d'un très-grand nombre de gouttelettes semblables (fig. 59).

Plus tard, à partir de l'âge de vingt ans, ou au delà selon les sujets, on voit que plus les individus approchent de l'état adulte, plus la substance des cavités intervertébrales devient grisâtre, friable, demi-solide. On reconnaît alors que cette particularité tient en partie à ce que les prolongements fibreux et fibro-cartilagineux en forme de villosité (planche XII, fig. 63) se sont multipliés et entrecroisés dans la cavité. Mais on constate aussi que ce changement d'aspect est dû à la production de fibro-cartilage entre ces prolongements et jusqu'au centre de la cavité; celle-ci se trouve peu à peu comblée par ce tissu grisâtre, plus ou moins mou, comme nous avons vu que s'oblitéraient aussi les cavités

---

beaucoup de *corpuscules* qu'il nomme *colloïdes*. (Virchow. *Verhandl. der phys.-med. Gesellschaft in Würzburg*. 1852, t. II, p. 283-284.) Ces *corpuscules* dits *colloïdes* ne sont que la matière sarcodique sortie des cellules et flottant librement dans la matière amorphe gélatineuse avec les cellules isolées et en amas qui les ont exsudées. Ces gouttes sarcodiques sont seulement devenues un peu plus denses qu'elles n'étaient avant leur issue.

interposées aux pièces du coccyx et du sacrum avant l'ossification des disques qui les séparent et la soudure de ces pièces vertébrales. Les phases de cette oblitération et de la production de ce fibro-cartilage sont les mêmes. On voit en effet se produire une substance fondamentale amorphe, granuleuse, mais davantage qu'au sacrum, parcourue par des fibres isolées ou en faisceaux, entrecroisées, et çà et là entre elles dans la substance amorphe existent de grandes cellules cartilagineuses, isolées ou réunies plusieurs ensemble dans une même cavité ou chondroplaste.

Lorsque la substance qui remplit la cavité intervertébrale au lieu d'être gélatiniforme est encore grisâtre, friable, demi-solide, sans avoir atteint le degré de consistance des parties voisines des disques, il reste un peu de matière visqueuse, homogène, transparente (mais très-peu et çà et là seulement), entre les faisceaux du tissu fibro-cartilagineux signalés précédemment. Dans cette substance il y a aussi quelques cellules, alors toutes plissées, grisâtres, généralement irrégulières (pl. X, fig. 24). Elles sont granuleuses et ne renferment plus de gouttes sarcodiques, mais on trouve un grand nombre de celles-ci, très-petites généralement, dans la substance gélatineuse qui reste encore.

Ainsi on voit par cette analogie, facile à constater, entre le mode d'oblitération des cavités intervertébrales du coccyx et du sacrum, vers l'âge de six à douze ans, et celui des cavités chez l'adulte, que dans leur évolution les disques interposés à ces os sont vieux sous ce rapport dès le bas âge de chaque individu. Ils nous montrent de bonne heure un état de la substance des disques intervertébraux que pour les autres

vertèbres on est forcé de chercher sur les vieillards (1).

Les dispositions des cellules, en couches, en séries, en amas, etc., se retrouvent avec les mêmes caractères que chez l'homme sur les embryons de vache. Les cellules sont seulement un peu plus petites et se gonflent plus lentement au contact de l'eau. Il s'y produit moins rapidement des gout-

---

(1) Sur un fœtus de huit mois, mort-né, et dont la mort datait de trois jours au moins avant l'accouchement, à en juger par l'absence de battements du cœur depuis ce temps, la substance de la cavité des disques intervertébraux offrait les particularités suivantes. Elle formait entre chaque vertèbre une petite masse lenticulaire, un peu moins molle qu'à l'ordinaire, jaunâtre, tout à fait opaque, s'isolant facilement. Elle était partout formée presque exclusivement de cellules en couches ou masses continues, non arrondies, et ne contenant pas de vacuoles ; il n'y avait presque pas d'amas arrondis ou ovoïdes, de substance gélatineuse homogène. Les cellules étaient très-pâles, finement granuleuses, polyédriques par pression réciproque, et leurs bords étaient difficiles à distinguer. Les couches de cellules étaient parsemées d'un grand nombre de corpuscules jaunâtres (pl. XII, fig. 60 et 61), très-foncés, surtout sur les bords, presque opaques sous le microscope, se dissolvant dans l'acide chlorhydrique, sans dégagement de gaz. Les plus petits de ces corps avaient de 2 à 3 millièmes de millimètre ; la plupart étaient larges de 5 à 10 millièmes ; presque tous étaient irrégulièrement polyédriques et contenus dans l'épaisseur même des cellules, dont alors le noyau était difficile à distinguer. Par places on trouvait un certain nombre de ces corps qui, arrondis ou polyédriques, étaient, les uns isolés, les autres réunis en amas irréguliers plus ou moins volumineux. Par places, tous ces corps étaient tellement nombreux qu'il ne restait pas entre eux un espace égal à leur propre diamètre (fig. 61). On trouvait enfin quelques-uns de ces corps calcaires arrondis, larges de près de $\frac{1}{10}$ de millimètre, au milieu des cellules et entourés de plus petits grains polyédriques assez régulièrement disposés autour des plus gros (fig. 60). Çà et là aussi dans leur voisinage existaient des grains calcaires, analogues aux précédents, réunis en amas plus ou moins larges.

tes sarcodiques, lorsque les préparations commencent à s'altérer.

Jusqu'à la fin du deuxième mois, il n'y a pas de différence entre les cavités intervertébrales du sacrum et celles des lombes : mais sur les embryons de trois mois on trouve les cavités plus petites qu'aux époques antérieures. Larges de $\frac{2}{3}$ de millimètre aux lombes, elles n'ont plus que $\frac{1}{4}$ de millimètre entre la deuxième et la troisième sacrée, puis entre celle-ci et la quatrième; on les retrouve plus grandes et à contours plus nets dans les vertèbres placées au-dessous, jusqu'à la cinquième coccygienne où elles cessent d'être apercevables. Leur contenu offre les mêmes caractères que celui des cavités intervertébrales de même grandeur.

A une période plus avancée, entre le troisième et le quatrième mois environ de la vie intra-utérine, les cavités intervertébrales commencent à se combler et à disparaître chez les fœtus de vache; cette disparition débute par celle du contenu du troisième et du quatrième disque intervertébral du sacrum. Ce sont en effet les premières pièces qui se soudent ensemble. L'oblitération de ces cavités suit les phases qui ont été décrites ci-dessus en parlant de l'oblitération des cavités du sacrum dans l'embryon humain. Cette oblitération s'étend peu à peu aux autres cavités des disques de toute la colonne vertébrale, de telle façon, qu'au sixième mois de la vie intra-utérine il n'y a plus de cavité dans quelque disque inter-articulaire que ce soit. Aussi voit-on que sur le veau et sur le bœuf les disques inter-articulaires sont fibro-cartilagineux dans toute leur étendue et ne présentent plus de

cavité pleine de liquide gélatiniforme. Il en est de même dans le cheval.

Sur le lapin on observe les mêmes phases d'évolution des cavités intervertébrales que chez l'homme. Chez les rongeurs adultes, la substance que contiennent ces cavités est molle, gélatiniforme, très-transparente, rendue grisâtre par de petits grains grisâtres apercevables à l'œil nu et formés par autant de cellules. Ceux-ci présentent les mêmes formes et les mêmes dispositions fondamentales que dans l'homme, et les cellules également; elles contiennent des gouttes incolores ou rosées très-nettes qui distendent les cellules et les rendent méconnaissables. Ces dernières sont très-granuleuses généralement, mais leurs granulations sont grisâtres ou plus pâles; elles renferment aussi des granules graisseux, mais d'un jaune d'ambre clair et pâle.

Lorsque la putréfaction des tissus qui entourent la colonne vertébrale commence, les gouttes sarcodiques se multiplient beaucoup dans chaque cellule et suintent en grand nombre autour des amas, dans la substance homogène visqueuse des cavités.

Chez le chien, les particularités relatives à l'évolution des cavités intervertébrales sont au fond les mêmes que celles qui viennent d'être signalées. Les modifications que subissent les cellules sont également très-analogues.

Vers le centre, dans la partie la plus molle et la plus transparente, on trouve dans une substance visqueuse tout à fait homogène des amas arrondis, ovoïdes ou cylindroïdes, formés par la juxtaposition de cellules sphériques ou à peu près (analogues à ceux des fig. 44, 44 *bis*, 45 *bis* et 46, pl. X). Mais ces cellules sont bien plus pâles et moins granuleuses que sur

les autres animaux. Quelques-unes sont finement granuleuses, pleines, les autres renferment en même temps quelques granulations graisseuses, jaunes. Le plus grand nombre présente une cavité avec une paroi distincte, épaisse (pl. XII, fig. 62 *k l*), pleine d'un liquide incolore, granuleux ou non, ou plus souvent de nombreuses gouttes hyalines contiguës ou éparses (*m*). Beaucoup de celles-ci sont comme distendues par ces gouttes et ont une paroi très-mince.

On rencontre en outre parmi ces amas sphériques, ovoïdes, etc., quelques-uns d'entre eux, qui, plus ou moins abondants d'une cavité à l'autre, chez le même animal, sont entourés d'une substance d'aspect muqueux, finement granuleuse, comme on en trouve aussi sur l'homme (pl. XI, fig. 55, *a b c d*). Cette substance y est également pourvue de fines stries concentriques par rapport aux amas; mais la substance même, ses granules et ses stries sont beaucoup plus pâles que dans l'homme. Ces amas sont formés les uns par 2 ou 3 cellules seulement, les autres par des cellules réunies en assez grand nombre pour qu'on ne puisse les compter; le diamètre de ces amas atteint et dépasse souvent $\frac{1}{10}$ de millimètre. Ces cellules immédiatement contiguës, plus pâles et moins granuleuses que sur l'homme, sont creusées de vacuoles pleines d'un liquide clair, légèrement jaunâtre, à contour net, généralement sphériques, contiguës ou non et de dimensions diverses. On observe aussi dans la substance finement striée qui entoure ces amas quelques gouttelettes allongées, analogues à celles qui existent souvent aussi dans l'embryon humain, mais plus petites.

En approchant de la périphérie de chaque cavité, non-seulement on y voit les cellules plus cohérentes, de telle

sorte que leur contour n'est plus distinct, mais elles sont en même temps comme plissées et chiffonnées, bien que toujours creusées de nombreuses petites vacuoles sphériques, pleines d'un liquide jaunâtre, pâle.

Là les cellules sont disposées sur une ou plusieurs rangées en séries étroites (comme on le voit aussi chez les autres mammifères; voyez fig. 45). Ces séries de cellules circonscrivent des espaces polygonaux ou plus souvent sphériques ou ovoïdes, pleins de substance visqueuse hyaline. Lorsque la préparation est épaisse, ces traînées de cellules en passant l'une sur l'autre et s'entre-croisant en divers sens donnent à celle-là un aspect aréolaire, souvent élégant. Dans les cellules disposées ainsi en séries plus ou moins épaisses, ces éléments sont comme étirés, allongés, plissés dans le sens de leur longueur. De plus, leur noyau est invisible avant l'action de l'eau ou même manque tout à fait.

Entre les cellules ainsi groupées on trouve dans la substance visqueuse hyaline qui leur est interposée des cellules irrégulières, finement granuleuses, grisâtres, analogues à celles qu'on voit aussi chez l'homme (pl. IX, fig. 40), mais bien plus pâles. Presque toutes sont creusées de nombreuses petites vacuoles sphériques, contiguës ou à peu près, qui leur donnent un aspect aréolaire élégant et curieux, variable d'une cellule à l'autre, et dont il serait trop long de décrire toutes les variétés.

Les cellules ainsi groupées sont contiguës à la paroi même des cavités intervertébrales, représentées par du fibro-cartilage à substance fondamentale finement striée et finement grenue, contenant de grands amas de cellules dans de larges chondroplastes à contour pâle.

Sur les chiens adultes, le contenu des cavités intervertébrales devient opalin, pulpeux, avec la consistance et un peu l'aspect de l'empois; et il se laisse facilement dissocier, par la dilacération. La cavité qui le contient est aplatie, large, limitée par un anneau fibreux peu épais relativement à ce qu'on observe dans les autres mammifères, et n'ayant qu'un petit nombre de prolongements villeux très-courts.

Du côté des vertèbres, la cavité n'est séparée de l'os que par une mince couche de cartilage, qui laisse voir, par demi-transparence, la couleur rougeâtre de l'os. Ce cartilage est mou, friable, facile à réduire en pulpe. Sa substance fondamentale est grisâtre; les chondroplastes sont très-rapprochés les unes des autres et pleins de cellules à contour net et foncé, se comprimant réciproquement.

TROISIÈME PARTIE.

DESCRIPTION ANATOMIQUE DES CELLULES DE LA NOTOCORDE.

Synonymie. — Cellules de la chorde dorsale ou corde dorsale (*chorda dorsalis* de Baer), du corps vitré ou cordon gélatineux de la corde dorsale (1). Globules de la corde dorsale (2). Cellules de la corde dorsale ou vertébrale (3). Cellules de la substance des disques intervertébraux (4).

---

(1) J. Muller. *Vergleichende Anatomie der Myxinoïden.* Erster Theil. Berlin, 1835, in-4°, p. 76.

(2) Valentin. *Lehrbuch der Entwickelungs-Geschichte der Menschen.* Berlin, 1835, in-8°, p. 157.

(3) *Schwann-Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung inder Structur und Wachsthume der Thiere und der Pfhanzen.* Berlin, 1838, in-8°, p. 11, et Bischoff : Traité du développement de l'homme et des mammifères, Paris, 1843 ; traduit par Jourdan, p. 379.

(4) Tood et Bowman. *Physiological anatomy.* London, 1845, in-8°, 1re livraison, p. 95, fig. 17. *cf.*

Cellules de la substance vitrée des disques intervertébraux (1). Cellules de la notocorde; de νοτος dos et χορδη corde (2). Cellules propres de la substance gélatineuse des disques intervertébraux (3).

Description. — On donne le nom de *cellules de la notocorde* à des cellules polyédriques par pression réciproque, finement granuleuses, rendues globuleuses, plus grosses qu'elles n'étaient et tout à fait hyalines par l'action de l'eau, formant un cordon celluleux dans l'axe de la tache embryonnaire au centre du rachis et de la base du crâne chez l'embryon et constituant plus tard une partie du contenu des cavités intervertébrales.

Ces cellules commencent à se montrer lorsque l'embryon des mammifères atteint une longueur de 2 à 3 millimètres. A compter de cette époque on les retrouve pendant une partie de la durée de la vie qui est différente suivant les espèces animales. Chez les chiens et les lapins les plus âgés, elles existent encore, de même que sur les poissons et quelques reptiles, dans les cavités des disques intervertébraux. Sur l'homme elles disparaissent pendant le cours de l'âge adulte; chez les ruminants elles disparaissent avant la fin de la première moitié de la vie intra-utérine. Il en est de même dans le cheval. Ainsi on voit que l'âge des animaux sur lesquels on veut les étudier mérite d'être pris en considération.

---

(1) Donders. *Beitraege hollandische zu den anatomischen physiologischen Wissenschaften.* Utrecht, 1847, in-8°, t. I, p. 164.

(2) Richard Owen. Principes d'ostéologie comparée, Paris, 1855, in-8°, p. 181.

(3) Ch. Robin. Dictionnaire de médecine, 10e édition, par Littré et Robin. Paris, 1854-1855, in-8°, p. 448.

Les cellules de la corde dorsale sont en voie d'évolution incessante, d'accroissement et bientôt d'atrophie, depuis l'époque de leur apparition jusqu'à l'âge adulte, mais surtout depuis le moment où commence l'ossification des vertèbres. Les modifications qu'elles subissent sont telles qu'on ne reconnaîtrait point dans les cellules de l'adulte les éléments observés sur le fœtus si on n'avait suivi les phases de leur développement.

Dans les embryons humains, longs de 5 à 20 millimètres, les cellules qui par leur juxtaposition immédiate forment le cordon celluleux un peu flexueux et intestiniforme de la notocorde, sont régulièrement polyédriques (pl. IX, fig. 36, *c*, *d*, *e*, et fig. 37 et 38 *a*, *d*). Elles sont larges de 12 à 15 millièmes de millimètre. Elle conservent cette forme même à la surface du cordon celluleux, bien que celui-ci ne remplisse pas sa gaîne et soit mobile dans le liquide visqueux interposé à celle-ci et au cordon. Ces cellules sont grisâtres, avec des parties plus foncées que les autres, en raison du peu d'uniformité que présente à cet âge la distribution des granulations qu'elles renferment. Elles deviennent uniformément grenues, grisâtres et un peu irrégulières lorsque la préparation qui les contient est faite depuis quelque temps et commence à se dessécher; on peut leur rendre leur premier aspect en ajoutant de l'eau à la préparation et les voir changer de nouveau lorsque celle-ci s'évapore.

Sur les embryons de mouton, elles ont aussi la même forme et le même volume, mais sont uniformément granuleuses et grisâtres. Elles sont juxtaposées d'une manière immédiate. Bien que le cordon qu'elles forment soit flottant dans la cavité de la gaîne de la notocorde et ne soit pas

appliqué contre sa face interne, les cellules de la surface de ce cordon ne font pas saillie dans leur portion superficielle libre, et les contours de ce dernier sont réguliers et non dentelés ni onduleux.

Cette uniformité et cette régularité de forme et de volume ne se conservent dans ces cellules qu'autant que la notocorde reste à l'état de cordon celluleux continu. Mais celles qui persistent et se multiplient dans la cavité intervertébrale, offrent des différences parfois très-grandes de figure et de dimensions, surtout lorsqu'elles sont libres ou occupent la surface des amas qu'elles concourent à former (voy. pl. XI, fig. 53). On sait en effet qu'une fois le cartilage du corps des vertèbres formé autour de la notocorde, celle-ci se dilate au centre du disque intervertébral et y produit une cavité qui s'agrandit peu à peu pour s'atrophier plus tard. Tant qu'elle existe, et surtout à partir de l'époque de l'ossification du corps des vertèbres, les cellules ne constituent plus un cordon, mais se dissocient en groupes de diverses formes flottant dans la matière gélatineuse demi-liquide des cavités intervertébrales et composés de cellules adhérentes ensemble, juxtaposées, sans enveloppe spéciale, décrits précédemment.

Dans les embryons de lapin longs de 20 à 24 millimètres, les cellules qu'on fait sortir des cavités intervertébrales, déjà formées (tant des plus petites entre les vertèbres coccygiennes, que des plus grandes dilatations des lombes), sont réunies en amas pour la plupart. Il y en a peu qui soient isolées.

Leur diamètre est de 12 à 15 millièmes de millimètre sur le plus grand nombre des mammifères. Quelques-unes, surtout parmi celles qui sont isolées, atteignent 18 et 20 millièmes de millimètre. Au milieu des amas, elles sont polyé-

driques par pression réciproque; celles de la périphérie sont polyédriques, à angles arrondis ou assez régulièrement globuleuses et ovoïdes. La plupart de celles qui sont libres ou de celles qui se trouvent aux extrémités des amas ont une forme polyédrique (pl. XI, fig. 58, *l*) plus ou moins régulière. Ce sont souvent aussi les plus grandes. Dès que la préparation commence à se dessécher, les cellules qui sont libres s'aplatissent, deviennent deux et même trois fois plus larges qu'elles n'étaient, plus irrégulières et anguleuses (pl. IX, fig. 40, *a, b, c, d, e, f, g, h*, et fig. 58, *m*). Leur noyau s'aplatit et s'élargit en même temps que le corps de la cellule. Toutes ces cellules ont une teinte uniformément grisâtre, qui tranche sur la transparence absolue du liquide visqueux assez tenace au milieu duquel elles sont plongées. Cette teinte et l'état finement granuleux sont plus prononcés sur les embryons morts depuis plusieurs heures que sur ceux qui sont encore très-frais.

Dans la partie périphérique des cavités intervertébrales, où les cellules sont disposées en couches continues, ces dernières sont souvent polyédriques par pression réciproque et disposées les unes par rapport aux autres comme le seraient des cellules épithéliales. Mises en liberté, beaucoup conservent la forme qu'elles avaient dans les amas. On en trouve alors qui sont triangulaires ou pyramidales, car leur épaisseur égale à peu près leur largeur. D'autres sont polyédriques, à angles arrondis, à bords droits ou concaves, convexes ailleurs, parfois comme un peu dentelées. Il en est qui présentent un prolongement effilé en pointe ou tronqué sur un ou plusieurs de leurs angles (fig. 58, *n*).

Du reste, les cellules isolées ou réunies offrent en outre

une configuration, une teinte et un aspect général assez différent de l'une à l'autre, selon qu'il s'est déjà produit ou non dans leur intérieur des gouttes homogènes limpides, rosées ou jaunâtres, dont il a déjà été question et dont l'apparence extérieure tranche sur l'état finement grenu et grisâtre du reste de l'élément (pl. IX, fig. 40 et 41).

Réactions et structure des cellules de la notocorde. — L'eau gonfle les cellules de la notocorde à toutes les périodes de leur existence; elle gonfle pourtant moins celles du chien adulte que celles des autres espèces animales. Son action est assez rapide; elle les rend globuleuses, sphériques ou ovoïdes; elle en double presque le volume (pl. XI, fig. 57). Elle leur fait perdre leur aspect grisâtre et les rend tout à fait incolores, transparentes, à contour très-régulier. Elles diffèrent alors considérablement de ce qu'elles sont en réalité à l'état normal, lorsqu'on prépare la notocorde de l'embryon à l'aide du serum sanguin, ou lorsque dans les cavités intervertébrales on les observe au sein même du liquide visqueux qui les accompagne. C'est sous cet état de gonflement par l'action de l'eau qu'elles ont toujours été décrites et figurées chez les mammifères. Tant qu'elles forment encore un cordon celluleux, contenu dans sa gaîne hyaline, on peut les voir se gonfler et reprendre ensuite leur aspect grenu, leur forme et leurs dimensions, plusieurs fois de suite lorsque l'eau est évaporée et qu'on vient à en ajouter de nouveau.

L'acide acétique rend les cellules plus petites, plus foncées, plus granuleuses, et leurs bords plus irréguliers; il les plisse, les ratatine, resserre un peu leur noyau, qui auparavant offrait un diamètre de $0^{mm},007$ à $0^{mm},009$.

Chaque cellule se compose d'un corps ou masse de cellules

finement granuleux, à granulations grisâtres de volume égal, un peu plus abondantes vers le centre qu'à la périphérie. La plupart des cellules renferment un noyau; mais il en est cependant beaucoup qui en manquent, et plus chez certains sujets que sur les autres. Celui-ci est ovoïde sur la plupart, sphérique dans quelques-unes, large de $0^{mm},007$ à $0^{mm},009$, à bords nets assez foncés. Il manque de nucléole dans la plupart des embryons; il en présente pourtant sur quelques noyaux chez quelques-uns d'entre eux. On trouve aussi des sujets dans lesquels le noyau de toutes les cellules ou de presque toutes est sphérique; mais le plus souvent il est ovoïde. Il n'est pas rare de trouver des cellules pourvues de deux noyaux, ordinairement rapprochés l'un de l'autre (fig. 53, *a*, *a*).

La présence d'un nucléole est l'exception; d'un sujet à l'autre d'une même espèce animale, on le voit exister ou manquer, quel que soit son âge, et il est rare d'en trouver dans tous les noyaux.

L'eau gonfle le noyau comme le corps de la cellule, mais plus lentement; elle le rend sphérique, clair, vésiculeux, chez les sujets de tout âge, mais davantage sur ceux dont la mort est arrivée depuis peu que dans ceux dont la mort date de quarante-huit heures ou de plusieurs jours. Outre les noyaux inclus dans les cellules, on en trouve toujours quelques-uns qui sont libres, et d'autres qui adhérent à la surface des groupes que forment celles-ci (pl. XI, fig. 57, *a*).

L'action de l'eau sur les cellules comme sur leurs noyaux se fait sentir bien plus vite sur les cellules placées à la périphérie des amas que forment celles-ci que sur celles qui sont placées au centre. Souvent les premières sont déjà devenues vésicu-

leuses, sphériques ou allongées, claires, lorsque les autres n'ont encore subi aucun changement notable (pl. XI, fig. 53, *c d*). Il est des cellules qui, en se gonflant au contact de l'eau, ne deviennent pas vésiculeuses, mais s'allongent en cône plus ou moins régulier, parfois dans le même sens, en prenant une disposition très-élégante (pl. X, fig. 47, *e*). On trouve du reste, bien que rarement, des sujets chez lesquels cette disposition, ainsi que l'absence de granulations dans ces cellules qui se sont allongées, se montre avant l'action de l'eau, soit qu'elle existe naturellement, soit qu'elle résulte d'un commencement d'altération cadavérique. Sur beaucoup de cellules, à partir du huitième mois de la vie intra-utérine environ, le noyau est un peu irrégulier, comme flétri, plus petit alors que les autres, dès l'instant où on fait la préparation, ou le devient peu à peu lorsque celle-ci est examinée pendant longtemps.

La glycérine resserre un peu les cellules et détermine l'issue par exsudation ou suintement de toutes les gouttes de substance sarcodique qu'elles renferment; cette substance flotte alors en grande quantité dans le liquide de la préparation, mais réduite en gouttelettes rosées, plus petites qu'elles n'étaient dans la cellule. Après l'action de la glycérine, les noyaux deviennent bien plus distincts dans les cellules, et celles-ci montrent mieux aussi leurs contours dans les amas où elles étaient cohérentes.

Tant que la notocorde est encore contenue dans sa gaîne hyaline, les fines granulations des cellules sont ordinairement distribuées d'une manière inégale dans leur épaisseur. Éparses (fig. 7) et rares dans la plus grande partie de leur corps, elles sont accumulées en petits amas irréguliers, allongés ou

polyédriques, soit sur un ou plusieurs points de leur circonférence, soit près du noyau. Sur le chien, cette disposition se conserve jusqu'à l'âge adulte ; seulement, c'est près du noyau qu'elles forment habituellement des amas à contours diffus, nuageux (pl. XII, fig. 62).

Un fait qu'il importe de signaler, c'est que, d'un sujet à l'autre d'une même espèce animale, le nombre des granulations moléculaires grisâtres varie beaucoup ; alors les cellules individuellement, mais plus encore les amas ou séries qu'elles forment, sont plus ou moins foncés ou transparents. D'un sujet à l'autre aussi, on voit les cellules pourvues ou dépourvues de granulations foncées, plus grosses que celles dont il vient d'être question, atteignant ou dépassant un peu 1 millième de millimètre. Ces granulations sont foncées, à contour noirâtre, à centre brillant jaunâtre, réfractant fortement la lumière, comme les corps gras, dont elles ont aussi les réactions. Ces granules ne sont pas en nombre égal dans tous les amas d'une même cavité intervertébrale, et, sur un même amas, elles ne sont pas non plus en nombre égal dans toutes les cellules. Celles du centre en possèdent souvent plus que celles de la périphérie. Elles peuvent être assez nombreuses pour masquer en partie ou tout à fait le noyau ou pour rendre presque opaques les amas qui constituent les cellules qui les renferment.

Ces granulations sont tantôt uniformément distribuées dans chaque cellule, et tantôt elles sont plus nombreuses autour du noyau ou sur un de ses côtés qu'ailleurs. Lorsque l'eau gonfle les cellules et fait disparaître les granulations grisâtres (fig. 57, *e*), les granulations graisseuses dont il s'agit ne changent pas d'aspect ; seulement, d'immo-

biles qu'elles étaient, elles deviennent peu à peu douées d'un mouvement brownien très-vif. Souvent aussi elles se rassemblent alors presque toutes autour du noyau; celui-ci est lui-même plus ou moins gonflé par l'eau et ses granulations grisâtres sont déjà dissoutes ou non par ce liquide. Lorsque les cellules contenant ou non de ces granulations se trouvent plongées depuis longtemps dans une grande quantité d'eau, elles finissent par se crever, leur contenu s'échappe, y compris quelquefois le noyau. Ce dernier se plisse et se déforme, mais non toujours, tandis que l'enveloppe des cellules revient sur elle-même, se flétrit et reprend un aspect légèrement granuleux (1).

Modifications évolutives des cellules de la notocorde. — La particularité la plus importante à noter à propos des cellules, parce que c'est elle qui influe le plus sur leur forme et sur leur volume, c'est la production dans leur intérieur des vacuoles. Celles-ci sont transparentes, arrondies généralement, parfois ovoïdes ou allongées, à contour pâle, très-net, très-régulier. Elles sont remplies d'un liquide sarcodi-

(1) C'est à tort que Luschka considère le noyau des cellules comme manquant le plus souvent; ce sont les gouttes sarcodiques qui le masquent, ainsi qu'on s'en assure en faisant agir l'eau sur les cellules. Il indique la présence dans ces dernières d'une grosse ou de plusieurs petites gouttelettes bien limitées à côté d'une masse finement granuleuse. Il ne décrit pas le mode ni les conditions de leur formation. Il les considère comme le résultat d'une liquéfaction ou d'une homogénisation partielle du contenu cellulaire, et le contenu liquéfié comme démontrant en quelque sorte le produit de la faculté secrétoire des cellules. Il signale sur les nouveaux-nés des gouttes libres d'aspect albumineux et il a vu des gouttes hyalines sortir des cellules et se dissoudre par l'eau. (Luschka. *Die Halbengelenke.* Berlin, 1858, in-4°, p. 51-52.)

que, clair, limpide, de teinte légèrement rosée ou jaunâtre.

Hors du cas d'altération cadavérique, ces vacuoles ne se montrent pas sur les cellules tant qu'elles forment un cordon celluleux encore contenu dans son enveloppe hyaline; elles ne subissent ces changements que lorsque l'enveloppe s'est dilatée en cavités intervertébrales et lorsque le cordon celluleux s'est dissocié en amas ou groupes arrondis, etc.; parfois même ce n'est pas avant le deuxième ou le troisième mois de la vie intra-utérine, que les cellules offrent ces modifications. Il est un grand nombre des groupes de cellules dans lesquels aucune de celles-ci ne renferme de vacuoles (pl. XI, fig. 52 et 54). Mais on en voit se former sous les yeux de l'observateur ordinairement plusieurs très-petites, dans les cellules des préparations faites depuis un certain temps. Elles changent peu à peu de dimension en s'agrandissant, et parfois de forme lorsqu'elles viennent à se toucher; elles se multiplient à mesure que le temps avance. Dans les cellules des sujets morts depuis peu qui en renferment normalement, on voit aussi s'en produire d'autres plus petites à côté des premières quand la préparation vieillit, et elles sont multiples.

Les rares cellules qui ont de ces vacuoles dans les très-jeunes sujets (fig. 5, *ijk*) n'en ont qu'une en général et d'autant plus petite qu'ils sont plus jeunes (comparez fig. 5, *ijk* à fig. 1, *abcd*). L'agrandissement des vacuoles entraîne presque toujours une augmentation à peu près proportionnelle du diamètre des cellules et parfois une déformation. Il résulte de là que, lorsque ces vacuoles vont en augmentant de nombre et de volume avec l'âge, elles donnent aux cellules en particulier un aspect tout différent de celui

qu'elles avaient auparavant et plus encore aux groupes qu'elles forment. Il devient impossible dans ceux-ci de distinguer les lignes de contact et de démarcation des cellules dès l'époque de la naissance ou peu après, même à la circonférence de ces groupes. Le contenu des vacuoles restées régulières ou déformées par suite de la pression des cellules paraît composer tout l'amas, et, sur les sujets de quatorze ans ou au-dessus, c'est à peine si l'on peut apercevoir çà et là quelques noyaux dans les traînées grisâtres que semble constituer la portion du corps des cellules comprimées que les vacuoles n'ont pas envahie (pl XI, fig. 56, *abc*); car, passé l'âge de six ou huit ans, il est rare de trouver quelques cellules dépourvues de vacuoles.

Pourtant, à cet âge avancé, sur les cellules isolées, globuleuses (pl. XII, fig. 59, *defg*), distendues par les vacuoles, on retrouve encore assez facilement le noyau ovoïde, grisâtre, finement granuleux, tandis que le corps de la cellule est à peine grenu entre les vacuoles (*h*), ne renferme même plus de granulations grisâtres (*de*), ou ne contient que quelques granulations graisseuses près du noyau (*fg*). Tantôt ces vacuoles sont de même volume à peu près, grosses ou petites (*fgh*), tantôt il y en a une ou plusieurs grandes avec d'autres plus petites (*de*) dans des cellules sphériques, ovoïdes ou polyédriques (pl. IX, fig. 40).

On ne voit jamais sur aucun animal de cellule contenue dans une autre cellule de la notocorde ; ce sont ces gouttes sarcodiques, sans aucun doute, qui ont été prises pour des cellules incluses dans d'autres cellules, bien qu'il soit facile par l'action de l'eau, etc., d'en déterminer la véritable nature. Ce sont elles aussi qui, par suite de cette fausse inter-

prétation, ont fait admettre une génération endogène dans ces éléments, mais à tort, car ce phénomène ne s'y observe jamais.

Un fait important à noter, c'est que le contenu des vacuoles augmente de densité avec l'âge, à partir de l'époque de la naissance. Très-fluide à cette époque, il n'est que demi-liquide quelques années après la naissance, et devient demi-solide dans les gouttes semblables aux précédentes qu'on trouve libres dans la matière gélatiniforme des disques intervertébraux, par suite du phénomène d'exsudation des cellules dont il me reste à parler. Les cellules libres, comme celles qui sont réunies en groupe, laissent en effet exsuder naturellement des gouttes de matière sarcodique rosée ou jaunâtre, semblable à celle qui remplit les vacuoles. On trouve ces gouttes arrondies, ovoïdes, allongées, ou en forme de larmes bataviques, etc., soit entre les cellules des groupes, soit dans la matière finement striée et d'aspect muqueux qui les entoure (pl. XII, fig. 59 *a b c*), soit autour des cellules isolées (*d e f g*), et cela sur les sujets les plus frais. Ces gouttes forment parfois autour des éléments une ou plusieurs couches régulières ou irrégulières, par la disposition ou par le volume des gouttes (*d f g*). Lors même que ces gouttes ne se touchent pas à l'extérieur de la cellule (*e*), elles sont entraînées avec elle lorsque celle-ci roule; mais alors ces gouttelettes se séparent et s'isolent facilement les unes des autres. L'acide acétique rend finement grenues les gouttes sarcodiques.

Cette espèce d'exsudation ou de suintement normal et graduel du contenu des vacuoles, dont se creusent peu à peu les cellules, s'opérant de manière à verser celui-ci dans le liquide gélatineux où sont plongées les cellules, semble

s'opérer lentement et ne peut être suivi pas à pas. Le mécanisme ne paraît pas cependant être différent de celui d'après lequel sortent les gouttes de ce même contenu sous l'influence de l'eau. Lorsqu'on soumet les cellules contenant des gouttes sarcodiques, pendant une demi-heure ou plus, à l'action d'une quantité d'eau relativement considérable, les cellules se gonflent et la teinte rosée ou jaunâtre des gouttes pâlit notablement (pl. XI, fig. 53, *bcdef*). Pourtant, à part cela, elles ne changent pas beaucoup d'aspect; mais, à mesure que l'action de l'eau se prolonge, on voit suinter de la surface des cellules de petites gouttes pâles, qui grossissent peu à peu, se détachent, puis sont remplacées par d'autres. Plus les cellules se gonflent, plus les gouttes se multiplient, plus aussi les vacuoles pâlissent; elles finissent même par disparaître tout à fait (fig. 57); l'eau donne alors aux cellules et à leur noyau l'état vésiculeux et la transparence dont j'ai parlé précédemment. Les gouttes qui suintent ou exsudent de la sorte sous l'influence de l'eau restent autour des cellules ou des amas que forment celles-ci comme une pluie de gouttelettes, et roulent avec elles lorsque quelque courant entraîne les premières entre les lames de verre de la préparation (fig. 57, *cd*). Peu à peu les cellules distendues se crèvent et laissent alors une masse transparente, presque amorphe, finement granuleuse. Il y en a qui se crèvent lorsqu'elles renferment encore des gouttes sarcodiques, celles-ci s'échappent en entraînant et enveloppant parfois le noyau; d'autres gouttes plus petites ne sont pas plus grosses que le noyau lui-même, et sont entourées par les plus grandes.

Lorsque ces cellules, pourvues ou non de vacuoles, sont préparées depuis quelque temps, sans avoir été mises au

contact de l'eau, et surtout chez les jeunes sujets, on les voit s'altérer d'une manière spéciale. Sur un point de leur périphérie se produit une expansion sarcodique, sous forme de gonflement, ou de saillie arrondie ou allongée, transparente, très-pâle, homogène sans granulations. Elle s'allonge peu à peu sous les yeux de l'observateur, s'arrondit le plus souvent (fig. 51, *ac*) ou s'effile en pointe (*ef*); bientôt, à mesure qu'elle grossit, cette expansion sarcodique se rétrécit et s'étrangle au niveau des adhérences à la cellule, puis se détache et devient libre sous forme de goutte sphérique ou ovoïde. Une même cellule laisse échapper ainsi successivement un certain nombre de gouttes sarcodiques, et peu à peu diminue de volume consécutivement à cette déperdition graduelle de substance; elle se flétrit, se plisse, devient irrégulière, plus ou moins aplatie (fig. 58, *abd*) par suite de cette espèce de suintement de sa substance même à la surface, à mesure qu'elle s'altère. On voit parfois aussi le noyau des cellules passer lui-même de leur corps dans une goutte sarcodique, pendant que celle-ci adhère encore à la cellule; elle le perd aussi lorsque la goutte se sépare et devient libre.

Lorsque ce suintement a cessé parce que le contenu des vacuoles est entièrement sorti, les cellules restent plissées, irrégulières, plus petites qu'elles n'étaient et finement granuleuses, les unes libres (fig. 58, *abcd*), les autres en ames.

Les gouttes qu'elles ont laissées suinter ou exsuder à leur surface ont des dimensions très-variées; beaucoup ont 5 ou 6 millièmes de millimètre seulement, la plupart ont 10 à 20 millièmes, d'autres atteignent jusqu'à 30 millièmes. Elles sont sphériques ou ovoïdes, libres ou adhérentes ensemble, et alors elles sont parfois polyédriques par pression réci-

proque, au moins au niveau des points de contact (fig. 51, *h*, *i*). Elles sont transparentes, réfractent très-faiblement la lumière, ont leur bord net, très-pâle et très-délié. Celles, pendant la formation desquelles le noyau s'est échappé de la cellule, contiennent celui-ci (*g*) et simuleraient assez une cellule, si elles ne se déformaient au contact du moindre obstacle, lorsque quelque courant du liquide de la préparation les entraîne. A la longue, les gouttes sarcodiques ainsi formées se détruisent par liquéfaction ou diffluence et disparaissent tout à coup. Il en est parfois qui, dans les mouvements du liquide de la préparation, perdent le noyau qu'elles avaient englobé, avant même de se liquéfier.

Lorsque, pendant la durée de ces phénomènes, la préparation a commencé à se dessécher, les noyaux libres ou contenus dans les cellules se plissent et se déforment.

Des cellules de la notocorde dans quelques espèces de mammifères. — Les cellules des dilatations intervertébrales de la notocorde se retrouvent sur les fœtus de vache jusqu'au quatrième ou au cinquième mois de la vie intra-utérine, avec les mêmes caractères que chez l'homme. Toutefois elles y sont un peu plus petites, plus régulièrement polyédriques, se gonflent plus lentement par l'action de l'eau et contiennent des granulations graisseuses en plus grand nombre.

Dans le lapin, les cellules offrent pendant la vie embryonnaire les mêmes phases d'évolution que chez l'homme. En avançant en âge, elles se remplissent de gouttes sarcodiques rosées très-nettes, de la même manière que sur celui-ci. Elles sont plus granuleuses, mais leurs granulations sont plus pâles, plus transparentes; elles renferment plus de gra-

nulations graisseuses, mais celles-ci ont une teinte d'un jaune d'ambre plus clair.

L'eau agit sur elles comme sur celles de l'homme; une fois gonflées, beaucoup éclatent, se plissent, deviennent alors irrégulières, finement granuleuses, et sans noyau, ni granulations graisseuses, parce que ceux-ci se sont échappés lors de la rupture; en même temps elles s'aplatissent, et, vues de côté, elles ressemblent alors à des cellules épithéliales plissées vues de la même manière.

Chez le chien, les cellules sont immédiatement contiguës les unes aux autres, mais peu adhérentes ensemble, sphériques ou ovoïdes, à peine déformées par pression réciproque, rarement au point de devenir polyédriques (pl. XII, fig. 62). Elles sont grandes, ont en moyenne 30 à 35 millièmes de millimètre, mais il en est qui n'ont que 25 millièmes et d'autres qui atteignent 40 millièmes. La séparation des cellules les unes des autres en déchire un assez grand nombre sur un ou deux des points par lesquels elles sont contiguës de manière à les percer sur le côté ou de part en part; d'autres fois elles sont déchirées par le milieu; elle en plisse un assez grand nombre (*g*), et souvent les rend alors irrégulières, comme chiffonnées, et alors elles sont beaucoup plus petites que les autres.

Ces cellules sont gonflées lentement par l'action de l'eau, qui les rend plus transparentes et un peu plus grosses. Dans l'acide acétique toutes deviennent finement et uniformément granuleuses et grisâtres; elles doublent presque de volume en conservant leur forme, mais en devenant toutefois un peu plus polyédriques, ce qui leur donne l'aspect général qu'elles ont dans les poissons, sans être cependant aussi grandes.

La glycérine les pâlit beaucoup et les rend très-transparentes, sans en changer notablement le volume. Presque toutes ces cellules ont une paroi épaisse de 1 à 2 millièmes de millimètre et quelquefois plus; la face interne de cette paroi est indiquée par une ligne pâle parallèle au contour extérieur. L'écartement de ces deux lignes laisse mesurer facilement l'epaisseur de la paroi (pl. XII, fig. 62, *a, b, c, d*). Celle-ci est homogène, transparente, souvent marquée de fines stries circulaires surtout sur les plus grosses et parfois elle est très-finement grenue. On trouve cependant quelques cellules dont la paroi est si mince que la ligne qui marque sa face interne n'est pas visible. Ce sont surtout celles-là qui se plissent facilement, et elles sont généralement dépourvues de noyau.

Les autres ont, à quelques exceptions près (fig. 62), un ou deux noyaux (*abcdefk*) petits, ovoïdes ou un peu polyédriques, homogènes et sans nucléole. Le noyau de ces cellules, tant qu'il n'est pas gonflé par l'eau, n'a pas plus de 5 à 7 millièmes de millimètre. L'eau le gonfle et le rend sphérique (*l*).

La plupart des cellules renferment un liquide dense et de fines granulations disposées en amas irréguliers, près du noyau ou contre la paroi de la cellule (*abcde*) et quelques autres très-fines, éparses. Quelques-unes contiennent de rares granulations graisseuses, jaunâtres, éparses dans la cavité de la cellule (*kl*); celles-ci sont douées du mouvement brownien après que les cellules ont été gonflées par l'eau.

Il n'y a qu'un petit nombre de cellules de la notocorde du chien dans lesquelles se produisent des gouttes sarcodiques,

soit au nombre de une ou deux séparées l'une de l'autre, soit en nombre plus considérable. Elles remplissent alors la cellule, la distendent et rendent le noyau invisible (*m*).

Le mode de naissance des cellules de la notocorde a été indiquée au commencement de ce travail; elles apparaissent dans l'axe de la tache germinative au milieu des cellules qui forment cette portion du blastoderme. Elles ne sont point une transformation directe de cellules du blastoderme qui auraient été séparées des autres sous forme de cordon cylindrique, par la production de la paroi propre qui entoure ce cordon. Elles naissent par genèse en même temps que la gaîne propre de la notocorde.

Sur les cellules déjà nées on peut, à l'extrémité de la notocorde, pendant qu'elle s'allonge, suivre les phases de leur segmentation par scission ou division en deux. On l'observe plus facilement encore dans les fœtus de trois ou quatre mois environ sur les cellules réunies en groupes arrondis, ovoïdes, intestiniformes, etc., flottant dans les cavités intervertébrales et qui augmentent graduellement de volume. On suit également parfois les phénomènes de cette segmentation sur les cellules isolées qui flottent avec les groupes ci-dessus.

Là on peut voir certaines de ces cellules isolées ou quelqu'une de celles des groupes, qui devenues plus grandes que les autres, présentent un sillon grisâtre, pâle qui les traverse dans une direction telle qu'il est impossible d'admettre qu'il s'agit là d'une juxtaposition de deux cellules distinctes. En outre ce sillon est bien plus pâle que celui qui résulte de l'accolement de deux cellules différentes. Presque toujours une des deux cellules qui résulte de cette division est

plus petite que l'autre; tantôt elle manque de noyau, celui-ci n'existant pas encore et devant naître plus tard, tantôt ce sillon s'est produit dans une cellule à deux noyaux entre ceux-ci.

Les conditions particulières de nutrition qui déterminent la production des gouttes sarcodiques incolores ou rosées dans la substance des cellules ne sont pas encore assez connues pour qu'on puisse les préciser. Toute cette partie de la physiologie de ces éléments reste encore à faire comme pour un grand nombre d'entre eux.

Le rôle particulier qu'elles remplissent, est également indéterminé en dehors des faits signalés plus haut touchant les usages de la notocorde elle-même.

EXPLICATION DES PLANCHES [1].

PLANCHE I.

Notocorde de l'homme, du rat et du mouton.

Fig. 1. — Embryon humain long de 6 millimètres donné par M. Manceau, comprimé et aplati afin de montrer la notocorde dans toute son étendue, devenue flexueuse par accident de la préparation.

Il n'existait pas encore de trace des vertèbres.

a. Extrémité antérieure renflée de la notocorde.

b. Son extrémité postérieure.

c. Œil.

Fig. 2. Embryon de surmulot (*Mus decumanus,* Pallas), long de 14 millimètres, grossi 12 fois, un peu déformé par la compression subie entre 2 lames de verre, après avoir vidé les cellules cérébrales et l'abdomen.

a. Traces de la masse cartilagineuse du corps du sphénoïde.

b. Yeux.

c. Vésicule auditive.

d, e. Masse cartilagineuse de l'apophyse basilaire traversée par l'extrémité antérieure de la notocorde.

e, f. Reste de l'étendue de la notocorde traversant tous les corps verté-

(1) Le grossissement employé pour l'exécution des figures est noté à côté de chacune d'elles sur les planches.

braux, à l'exception de l'atlas, et ne présentant encore aucune trace de dilatation intervertébrale.

f. Extrémité postérieure de la notocorde s'arrêtant au niveau de la face postérieure de la dernière pièce coccygienne ou caudale. Les rudiments des autres pièces cartilagineuses squelettiques, n'ont pas été figurés.

g. Vertèbres sacrées.

Fig. 3. — Elle représente une portion de l'occipital et du sphénoïde avec les cinq premières vertèbres cervicales d'un embryon de mouton (*Capra aries*, Fischer) long de 20 millimètres depuis le front jusqu'à la racine de la queue.

a, *b*. Portion céphalique renflée en massue de la corde dorsale; dans quelques préparations cette extrémité flotte et s'infléchit après qu'elle est devenue libre par déchirure du cartilage basilaire. On distingue nettement sa gaîne et le cordon ou filament grisâtre intestiniforme que les cellules constituent dans la cavité de celle-ci. Le cartilage offre deux portions à contour vague et diffus, sous forme de taches foncées, près de son articulation avec l'atlas, mais sans ossification.

b, *c*. Portion cervicale de la notocorde traversant de part en part le cartilage de l'apophyse odontoïde (*f. g.*), puis du corps de l'axis (*e*), des autres vertèbres et les disques interarticulaires. Elle n'offrait pas encore de dilatation très-nette entre ces derniers, mais une sorte d'épaississement fusiforme simulant une tache à contours diffus et foncée se voyait vers le bord inférieur du corps de chaque vertèbre (*c*). Cette disposition de la notocorde se conservait sans interruption jusqu'à la dernière vertèbre coccygienne et existait même au niveau de la jonction du cartilage de l'apophyse odontoïde avec le corps de l'axis (*e*); malgré une adhérence assez intime entre ces deux cartilages, un sillon très-marqué, surtout sur quelques sujets, décèle longtemps encore le plan de leur réunion. Le léger épaississement sous forme de tache foncée (*c*) disparaissait vers la première vertèbre sacrée.

d. Cartilage de l'arc antérieur de l'atlas contigu au bord postérieur épais du cartilage de l'apophyse basilaire. Le cartilage de l'atlas n'est pas traversé par la notocorde.

Les apophyses tranverses des vertèbres caudales des ruminants et des rongeurs naissent dans le tissu lamineux ambiant séparément du corps vertébral, comme autant de points cartilagineux distincts et qui se soudent ensuite à ce dernier. A plus forte raison en est-il ainsi des côtes, si ce n'est en ce qui touche la soudure au corps vertébral qui n'a pas lieu pour celles-ci.

PLANCHE II.

Notocorde de l'homme et du cochon d'Inde.

Fig. 4. — Mêmes parties que dans la figure précédente, représentées d'après un fœtus humain long de 18 millimètres.

a, b, c, d, e, f. Même signification des lettres que dans la figure précédente.

h. Artère vertébrale.

i. Disque intervertébral.

Fig. 5. — Partie antérieure de la notocorde chez un embryon de cochon d'Inde (*Cavia aperea,* Erxleben. Var. *porcellus*) long de 23 millimètres.

a. Corps du sphénoïde dans lequel empiète un peu la partie antérieure renflée de la notocorde.

a, b. Partie basilaire de l'occipital très-allongée, dépassant en avant les vésicules auditives (*i*) et traversée par la notocorde.

c. Parties écailleuses étroites et en forme d'apophyse transverse de l'occipital.

d. Atlas derrière l'arc antérieur duquel passe la notocorde.

e. Apophyse odontoïde à peine adhérente à l'axis par contiguïté et que sépare la moindre pression.

f. L'axis.

f, g. Les autres vertèbres cervicales : le corps des vertèbres est plan à sa partie antérieure, légèrement convexe sur sa face opposée ; les disques intervertébraux sont minces, formés de noyaux embryoplastiques étroits et de corps fusiformes presque tous disposés dans le sens de la longueur du rachis. A un grossissement de 300 diamètres, on voit qu'il y a une différence très-tranchée entre le tissu du disque et celui du cartilage des corps vertébraux, malgré la contiguïté de leur substance. Ce dernier offre des chondroplastes arrondis ou ovoïdes que le noyau ne remplit plus, et déjà séparés les uns des autres par un intervalle égal au moins à leur propre diamètre. Ils cessent d'une manière nette au niveau du point d'adhérence du cartilage avec le disque. Le tissu de ce dernier présente des noyaux embryoplastiques étroits, allongés, plus petits que les chondroplastes, et des corps fusiformes minces, écartés et réunis à la fois

par une substance homogène non granuleuse plus transparente que celle du cartilage avec laquelle pourtant elle est en contiguïté moléculaire, sans interposition de périoste.

g. Premier disque intervertébral dorsal avec un léger renflement de la notocorde. Le cartilage des apophyses transverses et celui des côtes sont moins transparents que le tissu ambiant; on peut observer autour de ces organes un périchondre au moins aussi foncé que le cartilage et formé de corps fusiformes enchevêtrés.

h. Autres renflements intervertébraux dorsaux de la notocorde.

PLANCHE III.

Notocorde du lapin et du rat.

Fig. 6. — Elle représente les six premières vertèbres cervicales cartilagineuses d'un embryon de lapin (*Lepus cuniculus*, L.) long de 25 millimètres et la partie céphalique renflée en massue de l'extrémité antérieure de la corde vertébrale.

a, *b*. Portion céphalique de la notocorde libre par déchirure du cartilage.

b. Portion un peu renflée de la corde dorsale telle qu'elle était sur cet embryon entre l'atlas et l'occipital.

c. Apophyse odontoïde.

d. Base de l'apophyse odontoïde et léger renflement de la notocorde entre elle et le corps de l'axis.

e. Partie inférieure ou seconde partie intérieure du corps de l'axis; en *d* entre ces deux portions, au milieu du corps de cette vertèbre, se voit un léger renflement fusiforme de la corde dorsale au niveau de la jonction de la portion odontoïdienne avec la partie axoïdienne proprement dite.

f, *f*. Renflements de la corde dorsale dans les disques intervertébraux et couche granuleuse grisâtre, en forme de ménisque formée par les amas de cellules propres à ces renflements.

g. Cartilage des masses latérales de l'atlas.

h. Masses latérales de l'axis.

i, *i*. Masses latérales et arcs rudimentaires des vertèbres suivantes, bien plus petits que ceux des deux premières.

Fig. 7. — Mêmes parties avec les os de la base du crâne, pris sur un embryon de rat (*Mus decumanus*, Pallas) long de 25 millimètres.

État plus avancé de la notocorde, dont les dilatations, relativement plus larges sont plus surbaissées, ce qui leur donne une forme (*f, f*) réellement lenticulaire.

j, k. Il n'y avait de points d'ossification que dans toutes les vertèbres dorsales, depuis la deuxième (*j*) jusqu'à la quatrième lombaire.

m. Première dorsale au centre de laquelle commençait à se produire une petite tache finement granuleuse, indiquant le prochain début de l'ossification. La douzième présentait une tache semblable. Il n'y avait pas de points d'ossification dans les vertèbres cervicales, lombaires, sacrées et coccygiennes. Les apophyses transverses (*j, h, i*, etc.) étaient en grande partie envahies par l'ossification.

n, *n*. Portion des masses latérales de l'atlas commençant à s'ossifier.

b. L'apophyse basilaire est envahie en partie par un large point d'ossification ovalaire qui interrompt la continuité de la notocorde.

a. L'extrémité antérieure de celle-ci empiète un peu dans le corps du sphénoïde présentant un large point d'ossification en arrière et un autre très-petit en avant (*o*).

c. Notocorde qui en avant du sommet de l'apophyse odontoïde passe derrière l'arc antérieur de l'atlas sans le traverser.

d. Apophyse odontoïde adhérent par la circonférence de sa base au corps proprement dit de l'axis (*h*).

e. Léger renflement de la notocorde entre l'odontoïde et le corps proprement dit de l'axis.

i. Troisième vertèbre cervicale.

PLANCHE IV.

Notocorde du lapin.

Fig. 8. — Portion du rachis d'un embryon de lapin long de 22 millimètres, prise de la quatrième à la huitième vertèbre dorsale ; elle est traversée par la notocorde qui présente des renflements globuleux un peu elliptiques transversalement au niveau des disques intervertébraux. Dans ces renflements se

voit une bande grisâtre en forme de ménisque, placée transversalement au milieu de la dilatation et formée par les groupes de cellules décrits plus loin. Le corps des vertèbres, leurs apophyses et les côtes sont entièrement cartilagineux, sans aucun point d'ossification. Même disposition de ces parties dans la colonne lombaire ; la cavité est seulement un peu plus elliptique en travers et la couche grisâtre en forme de ménisque plus nette. Le cartilage du corps des vertèbres est légèrement rosé au centre des deux moitiés placées de chaque côté de la corde dorsale ; les chondroplastes sont un peu moins nombreux au niveau du canal traversé par la notocorde que sur les côtés.

a a. Notocorde avec les renflements globuleux discoïdes.

b, b. Disques formés de fibres lamineuses et de corps fusiformes, composant un tissu plus foncé que le cartilage, au centre desquels se voit la dilatation globuleuse de la notocorde ; ils se prolongent sur les lames vertébrales (*d*) qui sont renversées sur les côtés du corps des vertèbres (*c*).

e. Apophyses transverses.

f. Côtes.

Fig. 9. — Extrémité postérieure du rachis du même embryon, à compter de la troisième vertèbre sacrée.

a, c. Notocorde.

g. Son dernier renflement, ovoïde transversalement, passant à la forme globuleuse, puis à la forme ovoïde (*e*) dans le sens de la longueur.

c. Premier noyau cartilagineux de la dernière vertèbre coccygienne récemment apparue.

c, d. Portion de la corde dorsale sans renflements.

d, e. Intervalles vertébraux où apparaissent les premiers renflements.

t. Premier des renflements dans lequel on voyait la couche grisâtre que forment les amas de cellules.

h. Première apparition des apophyses transversales.

i. Tissu interposé aux vertèbres et à leurs apophyses.

j. Tégument et tissu demi-transparent sous-jacent.

PLANCHE V.

Notocorde du veau, du porc et du mouton.

Fig. 10. — Portion de la queue d'un fœtus de vache (*Bos taurus*, L.) long

de 99 millimètres. La notocorde traverse les vertèbres caudales ou coccygiennes, et s'avance jusqu'au bout de la dernière, où elle se termine sans presque se rétrécir. Elle est large de 6 centièmes de millimètre.

j k. Premières traces de renflements de la notocorde.

g h. Renflement clair, transparent, bien prononcé, très-peu granuleux au centre, se trouvant entre la sixième et la septième et entre la septième et la huitième vertèbre caudale ou coccygienne à compter de la première.

t d. Renflements plus gros, ovoïdes transversalement comme le précédent, mais plus globuleux.

q, *q*. Autres renflements plus larges en travers placés entre les cinquième, quatrième et deuxième vertèbres caudales. Ils conservaient cette forme dans tout le sacrum, sauf dans le premier disque intervertébal sacré; là ils devenaient globuleux, larges de 25 centièmes de millimètre, et conservaient cette forme jusqu'au dos, où ils prenaient de nouveau la forme lenticulaire et moins d'épaisseur jusqu'à l'axis, où on cessait de pouvoir suivre la notocorde.

i. Huitième vertèbre caudale à compter de la première, au bord antérieur de laquelle se voient deux apophyses en forme d'oreille; cette disposition se conservait jusqu'à la quatrième (*e*). Sur le mouton, les apophyses correspondantes occupent le bord opposé du corps de la vertèbre, qui est plus court près son milieu.

e. Quatrième vertèbre caudale à compter du sacrum, offrant les premières traces d'un point d'ossification central (*p*).

a. Troisième vertèbre caudale, offrant un point central d'ossification (*o*) bien dessiné, avant toute vascularisation du cartilage; là cessaient les apophyses antérieures auriculées, et les corps des vertèbres devenaient renflés vers le milieu jusqu'au sacrum plus encore que sur celle-ci (*a*); en même temps elles portaient de chaque côté de leur partie moyenne une large apophyse bilobée dont les deux lobes sont encore seuls formés ici (*a*).

l m. Les deux dernières vertèbres coccygiennes ou caudales les plus récemment apparues; le tissu des disques interposés à elles à la suivante ne se distingue pas encore des tissus environnants. Les cartilages du corps des vertèbres caudales sont cylindriques-allongés; sur les moutons, dès qu'ils offrent des apophyses latérales, ils perdent cette forme, qu'ils possédaient aussi pour devenir globuleux, presque ovoïdes transversalement, lorsque l'apophyse transversale en occupe la partie moyenne. Le disques intervertébraux sont rétrécis vers leur milieu et plus longs chez la vache que dans le mouton.

Fig. 11. Cartilages de vertèbres coccygiennes ou caudales à compter de la cinquième, pris sur un fœtus de porc (*Sus scropha,* L.) long de 107 millimètres du vertex à la racine de la queue, montrant des particularités analogues à celles observées chez la vache, fig. 10. Les cellules des dilatations intervertébrales étaient grandes, finement granuleuses, déjà riches en gouttelettes sarcodiques. Ces dilatations ou cavités avaient 1 millimètre ou environ de large dans les disques lombaires, et 1 quart de millimètre environ ici, *d*, *d*.

a, *b* jusqu'à *e*. Points d'ossification de moins en moins gros au centre des corps vertébraux cartilagineux encore dépourvus de tout vaisseau. Toutes ces vertèbres portent des apophyses articulaires auriculées.

c. Onzième vertèbre coccygienne, à compter de laquelle les apophyses précédentes cessent d'exister.

d, d. Renflements intervertébraux de la notocorde globuleuse.

k. Renflements de la notocorde ovoïdes dans le sens de la longueur de l'organe, et de moins en moins gros.

k l. Notocorde sans renflements.

m. Extrémité de la notocorde au bout du dernier centre vertébral coccygien cartilagineux.

Fig. 12. — Corps cartilagineux des vertèbres des quatre dernières lombaires avec la corde dorsale, interrompue au milieu du corps des trois d'entre elles par un point d'ossification, sur un fœtus de mouton (*Capra aries,* Fischer) long de 7 centimètres du bout à la racine de la queue. Du bout du coccyx jusqu'à la première vertèbre sacrée, la notocorde n'était pas interrompue et aucune vertèbre n'avait de point d'ossification. La notocorde était cylindrique depuis son extrémité postérieure jusqu'au sixième disque intervertébral en comptant du dernier lombaire; à partir de là elle offrait une série de très-petites dilatations ovoïdes à grand diamètre vertical.

a. Dilatation ovoïde grisâtre du dernier disque intervertébral lombaire; d'autres semblables, mais un peu plus petites, se voient dans les autres disques (*g*, *h*, *i*).

b. Cartilage de la dernière vertèbre lombaire, commençant à devenir légèrement grenu au centre, sans interrompre tout à fait la notocorde à ce niveau.

c. Premier point d'ossification régulièrement ovoïde transversalement, interrompant tout à fait la notocorde au centre de la quatrième lombaire.

d e. Autres points d'ossification de plus en plus gros interrompant la notocorde au centre des troisième et deuxième vertèbres lombaires. Ils conser-

vaient la forme et le volume du point *e* dans toute la colonne vertébrale jusqu'à l'axis, sous forme d'une petite tache blanche visible à l'œil nu, large de 1 demi-millimètre.

PLANCHE VI.

Notocorde de l'homme et du cochon d'Inde (1).

FIG. 13. — Embryon de cochon d'Inde (*Cavia aperea*, Erxleben) de trois à quatre semaines, long de 9 millimètres, vu de côté et un peu aplati.

a. La vésicule ombilicale, large de 2 millimètres et demi.

b p. Son pédicule et les vaisseaux s'épanouissant sur la vésicule.

c. Pédicule de l'allantoïde. Le point de sa séparation de celui de la vésicule ombilicale est très-voisin de l'ombilic, mais le rapprochement des deux extrémités du corps fait qu'ils sont superposés ici.

d. Lambeau de l'allantoïde. Elle est formée de fibres lamineuses fines, en partie complétement développées, en partie à l'état de corps fibro-plastiques, et de matière amorphe un peu granuleuse ; dès le point où elle s'épanouit en membrane au sommet du pédicule, les vaisseaux se subdivisent presque au même niveau et forment des mailles polygonales étroites.

e e. Espace qui sépare le péricarde du cœur ; le premier est mince, transparent, plein de liquide, saillant avec le cœur hors de la cavité du corps.

r f h. Le cœur ; il est formé d'une partie inférieure renflée en ampoule (*h*) ; d'un vaisseau supérieur se renflant graduellement (*f*) et d'une portion (*r*) intermédiaire aux deux autres, représentant les oreillettes. Cette portion est aréolaire, spongieuse, à la manière d'un tissu érectile, comme parcourue par de nombreux capillaires du double plus larges environ que les capillaires de l'allantoïde. Normalement la partie *f* est repliée par dessus la partie *h*, qu'elle croise de manière à être supérieure ; mais il n'est pas très-difficile, par les mouvements imprimés à l'embryon, de l'amener à la position dans laquelle elle se trouve figurée ici.

i. Arcs branchiaux au nombre de trois. Leur tissu est entièrement formé de

(1) Par erreur, dans la gravure des lettres, le titre au bas de la planche VI porte les mots *Notocorde du lapin*, au lieu de *Notocorde du cochon d'Inde*.



noyaux embryo-plastiques, ovoïdes, à contour net, à centre clair transparent et possédant un ou deux petits nucléoles brillants; il en est de même, à cette époque, de tous les autres tissus du tronc, à compter déjà du moment où il n'y a encore que six corps vertébraux apparents.

j. L'œil déjà visible sous forme d'une petite masse sphérique un peu plus transparente, avec une partie ronde plus claire au milieu.

h. Oreille sous forme d'une vésicule transparente.

l, m, n. La notocorde; vingt-quatre vertèbres sont déjà dessinées, presque contiguës; la partie postérieure de la notocorde traverse une masse cylindro-conique, aux dépens de laquelle doivent se former les vertèbres coccygiennes; une couche de noyaux embryo-plastiques un peu plus allongés, plus étroits et plus grenus que ceux du cartilage du corps des vertèbres, accompagnés de matière amorphe molle, finement granuleuse, entoure les vertèbres et les sépare de l'épiderme, formé de grandes cellules polyédriques.

o, o, o. Cavité de l'amnios pleine de liquide; cette membrane est presque contiguë au corps à cette époque.

Fig. 14. — Les trois dernières vertèbres sacrées et les quatre coccygiennes cartilagineuses d'un embryon humain de 65 à 70 jours, long de 7 centimètres des talons au vertex, et de 5 centimètres de ce point jusqu'à la commissure périnéale. Aucun cartilage vertébral, ni l'apophyse basilaire de l'occipital, ni le sphénoïde n'offraient des points d'ossification. On voyait encore la partie céphalique de la notocorde, comme dans la fig. 2. Elle montrait de petits renflements ovoïdes, grisâtres, comme *a b*, dans tous les disques.

a b c. Portion sacrée de la notocorde sous forme d'un cordon grisâtre légèrement renflé au niveau des disques interarticulaires.

d e. Portion coccygienne de la notocorde régulièrement cylindrique, se terminant en pointe au milieu du dernier cartilage coccygien, qui était bilobé, peu régulier.

f. Dernière vertèbre sacrée.

g. Troisième et quatrième vertèbres sacrées cartilagineuses, déjà soudées ensemble avant l'apparition de tout point d'ossification.

PLANCHE VII.

Notocorde et premiers points d'ossification du corps des vertèbres de l'homme.

Fig. 15. — Cellules provenant d'une dilatation de la notocorde prise dans la colonne cervicale du fœtus humain de 65 à 70 jours (fig. 5), Les dilatations ovoïdes, grisâtres, commençaient à se produire entre l'axe et la troisième cervicale et se montraient dans tous les disques jusqu'au sacrum. La notocorde était rétrécie, difficile à apercevoir au centre du corps de chaque vertébre, bien qu'il n'y eût pas de point d'ossification. La notocorde et ses renflements grisâtres étaient tous formés par des cellules polyédriques, grisâtres, finement granuleux, se gonflaient dans l'eau et n'avaient pas de vacuoles sarcodiques.

a. Commencement du renflement ayant conservé sa forme ovoïde après l'expulsion et représenté en partie seulement.

a b. Portion cylindrique qui pénétrait dans le canal du cartilage vertébral.

b c. Prolongement grêle formé de cellules placées à la suite les unes des autres.

Fig. 16. — Corps de la cinquième vertèbre dorsale vu pa l'une de ses faces et grossi 60 fois, pris sur un embryon humain long de 24 millimètres du vertex au coccyx après redressement; épaisseur $0^{mm},7$; plus grande largeur $1^{mm},5$; diamètre antéro-postérieur $0^{mm},5$. Les arcs et les masses latérales cartilagineux ne sont pas encore soudés au corps de la vertèbre.

a. Orifice du canal par lequel passait la uotocorde et sa gaîne qui ont été arrachées; une mince couche de substance homogène sans chondroplastes (*b*) limite ce canal qui est placé plus près du bord antérieur de chaque vertèbre que de l'autre.

Fig. 17. — Portion du même corps vertébral grossi 450 fois pour montrer la structure du cartilage vertébral et la couche homogène dépourvue de chondroplastes, épaisse de $0^{mm},015$ qui limite le canal de la notocorde. Ce (*a*) canal est large lui-même de 5 centièmes de millimètre à cette époque; les chondroplastes et les noyaux qu'ils renferment sont plus petits près de la couche homogène (*b*) qui limite le canal de la notocorde. Dans le reste du cartilage

les noyaux contenus dans les chondroplastes sont plus larges que les noyaux embryoplastiques du tissu placé autour des vertèbres. Chaque cartilage vertébral est déjà entouré d'une mince couche de corps fibroplastiques fusiformes indiquant le commencement de la formation du périchondre. Le tissu des disques intervertébraux plus foncé, offre la même structure, mais ces éléments y sont plus adhérents entre eux. Ces particularités ne sont pas figurées ici.

Fig. 18. — Vertèbres d'un fœtus humain long de 18 centimètres et demi, esquisse de grandeur naturelle.

a. Quatrième vertèbre cervicale.

b. Troisième dorsale.

c. Deuxième lombaire.

Fig. 19. — Corps de la quatrième vertèbre cervicale, d'après une coupe transversale grossie neuf fois, pratiquée sur cette vertèbre chez le fœtus humain, long de 18 centimètres et demi.

a. Canal de la notocorde non oblitéré.

b. Point d'ossification, large de 7 dixièmes de millimètre, cordiforme, bilobé en avant, dont la formation débute un peu en arrière de la notocorde qu'il tend à entourer et dont il va prendre la place. Un point osseux semblable, plus petit, plus éloigné de la notocorde, existait dans la troisième cervicale.

c. Canaux vasculaires du cartilage ; aucun n'atteint encore le point osseux vers les côtés duquel ils se dirigent. Il n'y en avait pas en avant. Ils apparaissent d'abord à la face postérieure ou concave du corps de la vertèbre. Sur l'axis, dont le cartilage était déjà vasculaire, mais sans point central d'ossification, on voyait les canaux vasculaires en arrière et sur les côtés de la notocorde passer autour d'elle sans l'atteindre et circonscrire ainsi un espace clair dont elle occupait le centre. Il n'y avait pas encore de ces canaux à la face antérieure du corps vertébral.

Fig. 20. — *a.* Point osseux du corps de la deuxième vertèbre dorsale du même fœtus ; il a à peu près 2 millimètres de large. Il est arrondi en avant (*b*), mais prolongé en arrière vers la face concave du corps vertébral (*g*).

e c. Larges canaux osseux de la face concave du corps vertébral s'avançant dans le point d'ossification encore à l'état aréolaire ou ostéoïde. Leurs branches s'étendent déjà jusqu'auprès des autres faces du cartilage.

d. Petits canaux vasculaires venant de la face antérieure du corps vertébral.

Fig. 21. — Point osseux du corps de la quatrième vertèbre dorsale large de 2 millimètres et quart, arrondi en avant (*b*), prolongé en arrière plus près de la face concave du corps (*g*).

Fig. 22. — Coupe transversale du corps de la deuxième vertèbre dorsale. Grossissement de 9 diamètres.

b. Point d'ossification de la sixième dorsale large d'à peu près 3 millimètres. Il est très-élargi transversalement (*a*).

g. Il est prolongé et rétréci en arrière du côté de la face concave du corps vertébral. Cette partie prolongée (*g*), qui donne une figure cordiforme à ces points d'ossification, correspond à la portion osseuse qui est apparue la première, au début de l'ossification; la partie élargie est d'apparition consécutive et due à l'agrandissement graduel de celle qui est étroite.

c, *d*. Canaux vasculaires du cartilage atteignant le point osseux; quelques-uns le pénètrent.

Fig. 23. — *e*, *g*. Coupe verticale du corps de la septième dorsale dont le point d'ossification était semblable au précédent. Elle montre la forme aplatie de haut en bas de ce point osseux qui est plus épais et mousse en arrière dans la portion correspondant au prolongement rétréci (*g*). Il est plus mince en avant (*e*) dans la partie qui correspond au bord antérieur élargi du point osseux vu de face (fig. 22 *b*). Le centre montre le petit noyau osseux compacte (*a*), plus dur que le reste du tissu qui est aréolaire.

Fig. 24. — Coupe transversale passant par le milieu du point d'ossification du corps de la neuvième vertèbre dorsale. Il y avait 3 millimètres d'avant en arrière, et autant de gauche à droite. La partie antérieure (*b*) s'est très-élargie par rapport à la partie postérieure rétrécie en forme de manche de marteau (*g*).

PLANCHE VIII.

Fig. 25. — *b, g*. Coupe de la superficie du point d'ossification de la neuvième vertèbre dorsale, ayant enlevé la partie périphérique plus épaisse de ce point osseux.

a. Canal de la notocorde non encore oblitéré; il occupe le centre de la portion encore cartilagineuse et sans canaux vasculaires du corps vertébral dans chaque dépression ou concavité centrale du point d'ossification; point qui à ce niveau paraît grisâtre, moins opaque qu'au pourtour, lorsqu'il est vu de face et entier (voy. fig. 29 *a*).

c, d. Canaux vasculaires dont plusieurs pénètrent dans le tissu osseux.

Fig. 26. — *e, g*. Coupe verticale du corps de la onzième vertèbre dorsale qui montre sur ce point osseux les mêmes particularités que la coupe analogue (fig. 23), en ce qui concerne les bords ou extrémités *b* et *g*.

a. Milieu du point d'ossification plus mince que le reste, montrant qu'il est biconcave, à double dépression centrale entourée circulairement par la partie périphérique plus épaisse et encore ostéoïde du point d'ossification (*f, e* et *f, g*), tandis que ce centre est occupé par une sorte de noyau osseux plus dur et plus foncé.

Fig. 27. — Coupe transversale passant par le milieu du point osseux du corps de la douzième dorsale, mesurant 2 millimètres transversalement et 2 millimètres et demi d'avant en arrière.

b. La portion antérieure plus mince tient à la partie postérieure plus épaisse (*g*) et plus large que dans les autres vertèbres, par une portion (*a*) plus étroite (1).

c, d. Larges canaux vasculaires gagnant le tissu osseux.

---

(1) La plus grande minceur et la plus grande étroitesse du point osseux au centre de la vertèbre s'exagèrent par la dessiccation; la pression des vertèbres brise facilement le point osseux à ce niveau et le partage en deux moitiés séparées artificiellement. MM. Rambaud et Renault appellent *point osseux médian* la partie antérieure élargie (*b*) résultant de l'extension du point d'ossifica-

Fig. 28. — Coupe transversale de la superficie du point osseux de la même vertèbre.

b, *g*. Parties antérieures et postérieures de ce point osseux qui, plus épaisses que la portion intermédiaire centrale et bilatérale (voy. fig. 26 *a*), ont seules été rasées par la coupe.

a. Canal de la notocorde non encore oblitéré dans le cartilage sans canaux vasculaires au niveau de la partie plus mince du point d'ossification.

Fig. 29. — Coupe transversale du point osseux de la troisième lombaire, pratiquée par le milieu, mais vue par sa face superficielle. Ce point mesurait 2 millimètres et demi d'avant en arrière et autant transversalement.

a. Dépression médiane centrale du point osseux.

g. Partie postérieure la plus épaisse de haut en bas, la plus étroite transversalement ; elle porte un petit lobe de chaque côté aux deuxième, troisième et quatrième vertèbres lombaires.

b. Partie antérieure la plus amincie, mais la plus large transversalement.

c, *d*. Canaux vasculaires.

Fig. 30. — Coupe transversale du point osseux de la troisième vertèbre lombaire ; il est lenticulaire presque circulaire, large de 1 millimètre et demi.

Fig. 31. — Point osseux (*b*, *g*), d'une quatrième cervicale d'un fœtus de chienne (*Canis familiaris*, L.) atteignant la face antérieure et presque la face postérieure du corps vertébral et déjà large de 1 millimètre transversalement, sans qu'il y ait encore traces de vaisseaux dans le cartilage d'ossification (*c*).

Fig. 32. — *a b c*. Humérus cartilagineux d'un embryon humain long de 24 millimètres du vertex au périnée. Grossi de 15 diamètres.

d. Point osseux contre le périoste de la face interne.

e. Portion du cartilage non encore envahie.

---

tion, qui est en réalité unique. Ils nomment *point accessoire* la partie la plus étroite transversalement (*g*), mais qui est la plus épaisse dans le sens de la hauteur (fig. 7, *f*), et ils la considèrent comme déformation postérieure à la première et se soudant ensuite à elle (Rambaud et Renault, *Origine et développement des os*, Paris, 1864, in-8°, p. 76 et 78, et atlas, pl. IV, fig. 4, 8 et 9) ; mais c'est en arrière et non en avant de la notocorde (fig. 1, *a*) que débute le point osseux vertébral.

f. Cubitus cartilagineux.

g. Radius cartilagineux.

h. Tache grenue grisâtre indiquant le début du point osseux cubital.

t. Articulation radio-carpienne.

FIG. 33. — *i*. Point osseux radial bien marqué, conoïde.

j, *k*, *l*, *m*. Fémur cartilagineux du même embryon, à un grossissement de 11 diamètres.

n. Son point osseux qui de la face interne forme déjà un disque complet atteignant le côté opposé à celui où il a débuté à l'état de point conoïde.

o. Tibia cartilagineux.

p. Son point osseux conoïde plus avancé que celui du péroné.

q. Péroné cartilagineux.

r. Son point osseux encore grenu.

s. Articulation tibio-tarsienne.

FIG. 34. — Portion du fémur d'un embryon long de 20 millimètres du vertex au périnée. Grossissement 45 diamètres.

s. Point d'ossification formant un disque complet qui partage en deux moitiés, l'une supérieure, l'autre inférieure, le fémur cartilagineux.

t, *t*. Le périchondre ou périoste.

FIG. 35. — Portion du tibia cartilagineux du même embryon. Même grossissement.

u. Point d'ossification conoïde.

v. Portion du cartilage qu'il n'a pas encore envahie.

y. Mince couche cartilagineuse interposée au périoste et à la substance osseuse du côté où sa génération a débuté, c'est-à-dire à la face interne de l'organe.

x, *x*. Périchondre ou périoste.

PLANCHE IX.

Éléments anatomiques de la notocorde et de sa gaîne.

FIG. 36. — Portion céphalique renflée en massue de la notocorde de l'embryon de mouton (*Capra aries*, Fischer) de la fig. 3 (*a*, *b*), vue à un fort grossissement.

a, d. Portion la plus renflée.

d, b. Portion plus mince devenant peu à peu régulièrement cylindrique. On distingue la gaîne qui est homogène-transparente, légèrement marquée de plis longitudinaux très-délicats. Dans la gaîne, la notocorde est formée d'un cylindre intestiniforme, replié sur lui-même d'espace en espace (*d*), un peu flexueux, formé de cellules polyédriques (*e*), ayant un noyau sphérique. Les cellules sont fortement pressées et adhérentes les unes contre les autres.

b, b, f. Points où une ligne intérieure parallèle à celle qui marque la surface extérieure de la gaîne de la notocorde indique la face interne et l'épaisseur de cette gaîne.

Fig. 37. — Extrémité postérieure de la notocorde d'un embryon de rat (*Mus decumanus*, Pallas) long de 12 millimètres.

a, c. Cordon celluleux formé de cellules grisâtres, très-fortement cohérentes et dont les lignes de juxtaposition sont difficiles à voir.

c, b. Intervalle plein de liquide visqueux existant entre la superficie du cordon celluleux et l'enveloppe de la notocorde.

d. Extrémité mousse de la notocorde et de son enveloppe.

Fig. 38. — Partie moyenne de la notocorde de l'embryon humain, long de 6 millimètres, représenté fig. 1.

a, b, c. Comme à la fig. 37.

d. Extrémité brisée de la notocorde. Les cellules sont tellement cohérentes qu'on ne les voit bien et surtout qu'on ne distingue leur noyau qu'après quelques instants de contact avec l'eau.

Fig. 39. — Cellules prises à la périphérie de la cavité des disques intervertébraux chez un fœtus humain, long de 81 millimètres. Dans la partie centrale, elles étaient telles que les représente la fig. 45.

i, j, k. Cellules réunies en groupes ramifiés et entourant de grands globules clairs et limpides (*k*).

Fig. 40. — Éléments de la même préparation.

a, b, c, d. Cellules réunies ou intimement juxtaposées, dessinées lorsque la préparation, faite depuis un certain temps, commençait à se dessécher. Des vacuoles claires, petites, pleines d'un liquide rosé, se formaient peu à peu dans leur épaisseur sous les yeux de l'observateur pendant la durée de l'exécution du dessin.

FIG. 40 *bis*. — *e, f, g*. Cellules de la même préparation dessinées avant les précédentes, et lorsqu'il ne s'y était pas formé encore de vacuoles.

e, e. Deux cellules présentant un long prolongement à une de leurs extrémités, fait peu habituel.

FIG. 41. — Cellules prises à la périphérie de la cavité des disques intervertébraux chez un fœtus humain de 3 mois. Dans la partie centrale, elles étaient semblables à celles des fig. 44 et 45.

a, b, c, d. Grandes excavations sarcodiques dont quelques cellules étaient formées au moment ou la préparation a été faite, et qui se sont multipliées beaucoup, après quelques instants comme dans la fig. 40. Les noyaux étaient finement granuleux sans nucléole, ronds, ovoïdes ou un peu irréguliers.

FIG. 42. — Groupe de cellules pris dans la même préparation que le précédent, mais sans excavations sarcodiques.

a, b. Cellules polyédriques à noyau sphéroïdal, ou ovoïde sans nucléole.

c, d. Cellules de la périphérie de ce groupe prolongées en pointe.

e, e, e. Globules hyalins, de dimensions diverses, entourés par les cellules.

FIG. 43. — L'avant-dernier corps vertébral cartilagineux coccygien de la queue de l'embryon de lapin représenté pl. IV, fig. 9, dessiné à un grossissement de 500 diamètres.

a, b. Gaîne de la notocorde entraînée par le centre cartilagineux pendant son isolement et vidée de son contenu.

c, d. Masse cartilagineuse naissante, formée d'une substance homogène molle, assez élastique, creusée de cavités exactement remplies par autant de noyaux ovoïdes finement granuleux.

e, f. Partie centrale plus foncée que la périphérie de ce centre vertébral coccygien.

PLANCHE X.

Modifications évolutives des cellules de la notocorde.

FIG. 44. — Cellules en amas, existant dans les dilatations de la notocorde de même embryon de lapin, amas expulsés par compression. Ils sont plongés

dans une substance homogène, visqueuse, assez tenace. Cette substance est plus dense autour des amas de cellules que loin d'eux ; elle forme même parfois une mince couche légèrement striée qui les entoure, et dont l'aspect strié se prolonge au-delà des amas vers leurs extrémités (voyez fig. 51).

a, *b*, *c*. Amas formés d'un petit nombre de cellules.

d, *e*, *f*, *g*, *h*. Amas allongés, plus volumineux.

i. Cellules de quelques amas se creusant de vacuoles claires, pleines d'un contenu limpide légèrement rosé.

Fig. 44 *bis*. — Amas étroit et allongé pris dans la même préparation que les précédents.

a. Cellules granuleuses.

b. Cellules accidentellement hyalines sans granules et se creusant de vacuoles sarcodiques.

c. Cellule granuleuse avec une petite vacuole sarcodique.

Fig. 45. — Cellules intervertébrales recueillies en raclant la face interne de la cavité des disques intervertébraux d'un fœtus de vache (*Bos taurus*, L.) de sept à huit semaines. Elle sont petites, polyédriques par pression réciproque, et forment de longues séries simples ou ramifiées par juxtaposition ; toutes les cellules renfermaient quelques granules graisseux.

a. Amas ovoïde pédiculé contenant à son centre une masse globuleuse homogène, pâle, sans granulations.

b, *c*. Amas allongé de cellules polyédriques dont se détachent des séries non ramifiées de cellules superposées.

d, *e*, *f*, *g*. Séries de cellules semblables ramifiées de diverses manières.

Fig. 45 *bis*. — Amas isolé de cellules polyédriques, granuleuses.

a. Au centre se voient deux grands globules clairs transparents (*b*, *c*). Cet amas vient de la même préparation que celui de la figure précédente. Ces cellules devenaient sphériques en se gonflant au contact de l'eau.

Fig. 46 *à* 48. — Amas de cellules et cellules isolées pris dans les cavités intervertébrales de fœtus humains de trois, quatre, six et neuf mois. Ils sont sous forme de grains grisâtres, déjà apercevables à l'œil nu au centre de la cavité des disques intervertébraux, dans la substance hyaline, visqueuse, gé-

latiniforme qui les remplit. On en voit de très-allongés, cylindroïdes ou intestiniformes, d'ovoïdes, etc., accompagnés d'autres analogues à ceux des figures précédentes.

Fig. 46. — Groupe arrondi formé d'un petit nombre de cellules seulement, pris sur un fœtus de trois mois.

a, *b*. Cellules sphèroïdales peu granuleuses.

Fig. 47. — Cellules isolées et amas de cellules arrondi d'après une préparation prise sur un fœtus de six mois n'ayant pas éte traitée par l'eau, mais faite depuis quelques heures et dans laquelle les cellules commençaient à s'altérer.

a. Cellules s'étant conservées intactes, et dont une renferme deux vacuoles.

b. Cellules creusées d'une grande vacuole qui la distend avec contenu rosé.

c, *d*. Cellules de la surface de l'amas s'étant gonflées et devenues hyalines, transparentes, globuleuses, et de polyédriques finement granuleuses qu'elles étaient.

e. Cellules ayant subi les mêmes changements, mais allongées; d'autres plus près du centre de l'amas commencent à montrer la même altération. Au centre de l'amas est un grand globule transparent, limpide.

f. Cellules ne présentant aucune modification.

Fig. 47 *bis*. — Autre amas de cellules de la même préparation.

a, *e*. Cellules périphériques devenant globuleuses ou allongées.

b, *c*, *d*. Cellules creusées de vacuoles pleines d'une matière hyaline légèrement rosée.

f. Grand globule hyalin incolore, placé au centre de l'amas et entouré de cellules plus granuleuses que les autres.

Fig. 48. — Amas ovoïde allongé, à cellules assez granuleuses pour le rendre peu transparent, pris sur un fœtus vigoureux mort pendant le travail. Durant l'exécution du dessin, quelques cellules se sont creusées de vacuoles qui les distendent et sont devenues globuleuses.

a. Cellule devenue sphéroïdale, transparente

b, *c*, *d*. Cellules distendues par des vacuoles qui se sont formées dans leur épaisseur.

d, *e*. Substance amorphe, plus dense que la matière molle du reste de la cavité, entourant beaucoup d'amas de cellules et se prolongeant à leurs extrémités.

PLANCHE XI.

Modifications évolutives des cellules de la notocorde.

Fig. 49. — Amas de cellules granuleuses, pris dans la même préparation que celles de la figure précédente.

a. Cellule prolongée en pointe avec une vacuole.

b. Cellules sphéroïdales.

Fig. 50. — Autre amas tiré de la même préparation, avec un petit globule limpide au centre. La plupart des cellules présentent une ou deux vacuoles, parfois très-grandes, pleines d'un contenu rosé. Celles de la périphérie sont devenues globuleuses, transparentes; celles du centre sont très-granuleuses par places au point de rendre l'amas presque opaque.

Fig. 51. — Cellules de la même préparation, faite depuis une heure. Elles laissent exsuder des gouttes sarcodiques, qui s'effilent, se pédiculisent, se détachent, et la cellule reprend à peu près sa forme. Elle se flétrit et devient irrégulière, lorsque plusieurs gouttes se sont échappées successivement de la même cellule. Souvent le noyau est entraîné par la goutte sarcodique et reste enveloppé par elle.

a, b. Cellules à un et deux noyaux laissant exsuder des gouttes sarcodiques arrondies, allongées, *c*, *d*.

e. Autre cellule laissant exsuder une goutte allongée non encore pédiculée.

g. Goutte sarcodique devenue libre ayant entraîné le noyau de la cellule d'où elle vient.

h, *i.* Gouttes sarcodiques contiguës dont l'une a entraîné un noyau.

Fig. 52. — Amas tiré du centre des disques du même fœtus que les figures précédentes, mais d'une préparation traitée par l'eau. Les cellules ne présentent pas d'excavations ni de gouttes sarcodiques. Elles commencent à être rendues transparentes par l'eau qui ne les a pas encore notablement gonflées. Un globule pâle, transparent, se voit au milieu de l'amas.

Fig. 53. — Amas de cellules de la même préparation traitée par l'eau, dessiné après le précédent. Les cellules sont déjà pour la plupart devenues globuleuses, surtout à la périphérie. Elles montrent encore les gouttes sarcodiques qu'elles renfermaient. On voit au centre de l'amas quatre grands globules transparents.

Fig. 54. — Autre amas de la même préparation dessiné après le précédent; l'eau a déjà gonflé beaucoup les cellules, qui sont devenues globuleuses, très-pâles; elles ne renfermaient pas de gouttes sarcodiques.

Fig. 55. — Amas volumineux, allongé, de cellules, pris sur un enfant de deux ans : les cellules sont pressées les unes contre les autres, presque meconnaissables, surtout par suite de leur distension par des vacuoles pleines de gouttes sarcodiques rosées. Une substance amorphe les entoure et se prolonge à leurs extrémités; elle est d'aspect muqueux, légèrement striée. On trouve des noyaux non-seulement dans les cellules, mais en groupes ou isolés à la surface des amas de cellules.

a, *b*. Substance d'aspect muqueux et striée entourant les amas et se prolongeant au-delà d'eux.

Fig. 56. — Amas sphérique de la même préparation que le précédent, dans lequel les cellules sont tout à fait méconnaissables par suite de leur compression réciproque et de leur réplétion par des gouttes *sarcodiques*.

Fig. 57. — Amas de cellules semblable au précédent, mais plus petit, pris dans la même préparation et traité par l'eau. Les cellules se sont gonflées considérablement, sont devenues transparentes, sphériques, distinctes les unes des autres. Les noyaux contenus dans leur épaisseur sont également devenus très-volumineux, incolores, transparents. Les noyaux libres adhérents à la surface des cellules sont restés granuleux sans se détacher.

L'amas de cellules est entouré de petites gouttes sphériques exsudant de leur intérieur comme une pluie de petits globules, et, à mesure qu'a lieu cette issue, les cellules se gonflent davantage et leurs gouttes sarcodiques intérieures disparaissent tout à fait.

Fig. 58. — Cellules diverses tirées de la même préparation, avant et après l'action de l'eau.

a, b. Cellules isolées qui, après avoir été gonflées par l'eau, se sont crevées, flétries, et ont repris alors un aspect finement granuleux.

c, d. Cellules qui étaient pleines et distendues par des vacuoles à contenu rosé limpide qui se sont crevées pendant la demi-dessiccation de la préparation non traitée par l'eau, et qni ont perdu leur noyau ainsi que le contenu de leurs vacuoles.

De *e* à *k*. Cellules de formes diverses isolées ou réunies, telles qu'on en trouve toujours quelques-unes d'isolées entre les groupes, soit avant, soit après la naissance.

l, m. Cellules isolées creusées de vacuoles et prises sur un enfant de quatre ans entre des groupes semblables aux précédents.

n. Autres cellules isolées de la même préparation offrant de petits prolongements pâles à leur périphérie.

PLANCHE XII.

Cellules de la notocorde de l'homme et du chien.

FIG. 59. — Groupes de cellules et cellules isolées pris sur deux sujets humains âgés de quatorze et de dix-sept ans.

a, b, c. Amas ovoïde, dans lequel les cellules sont rendues méconnaissables par la quantité de gouttes hyalines, rosées, qui les distend.

a. Traînée de substance amorphe striée, ayant l'aspect et la consistance d'un mucus qui entoure presque tous les amas à cet âge.

b, c. Gouttes sarcodiques demi-solides, plus consistantes qu'avant la naissance et qui, chez les jeunes enfants, se voient autour de la plupart des amas dans la substance hyaline, striée, qui les entoure. On en trouve beaucoup qui sont libres dans la substance amorphe gélatiniforme, au milieu de laquelle flottent les amas.

d. Deux grandes cellules juxtaposées distendues par des gouttes sarcodiques et entourées de petites gouttes exsudées à leur surface.

e. Cellule isolée entourée d'un grand nombre de petites gouttes sarcodiques rosées, entraînées avec elle dans ses mouvements et analogues à celles plus grandes qui remplissent la cellule.

f, g. Autres cellules isolées pleines de gouttes sarcodiques et recouvertes d'une ou plusieurs couches de gouttelettes analogues.

h. Cellule isolée pleine de gouttes sarcodiques, mais n'en ayant point laissé exsuder.

Fig. 60. — Groupe de cellules prises dans les disques intervertébraux d'un fœtus de huit mois mort-né. Un grain calcaire volumineux arrondi (*a*) est entouré de cellules pâles finement granuleuses (*b*), parsemées de grains polyédriques plus petits de même nature (*c*).

Fig. 61. — Autre amas de cellules (*b*) parsemé de grains calcaires foncés, analogues aux précédents, les uns arrondis (*a*), les autres polyédriques, irréguliers, isolés (*d*) ou réunis en groupes (*c*).

Fig. 62. — Cellules formant la substance, ayant la consistance de l'empois, qu'on trouve dans les cavités intervertébrales des chiens.

a, b, c, d, e. Cellules transparentes, sphéroïdales, un peu granuleuses, avec un petit noyau ovoïde et une paroi assez épaisse, distincte de la cavité, qui sont les plus nombreuses.

f, i. Cellules à fines stries concentriques superficielles peu nombreuses et un peu plus grosses que les autres.

g, h. Cellules sans noyaux, plus grandes que les autres, présentant des plis à leur superficie; elles sont peu nombreuses. On en trouve comme chez l'homme qui sont tout à fait plissées, irrégulières, ratatinées, trois fois plus petites que les autres ou environ.

j, k, l. Cellules gonflées par l'eau. Sur celles qui ont un noyau (*k, l*), celui-ci se gonfle aussi et ne montre pas de nucléole, ni de granulations.

m. Cellule remplie de gouttes sarcodiques hyalines, légèrement rosées, comme sur les autres animaux, mais peu nombreuses sur le chien. Les unes et les autres de ces cellules se brisent facilement et reviennent alors sur elles-mêmes en se plissant et se chiffonnant.

Fig. 63. — Exemple de l'une des formes que présentent chez l'homme les prolongements fibro-cartilagineux, plus ou moins ramifiés, qu'envoie, dans la substance gélatiniforme intervertébrale, le tissu limitant la cavité centrale des disques intervertébraux.

a. Pédicule homogène finement granuleux et finement strié.

b, *c*, *d*. Substance semblable formant la masse fondamentale des prolongements et de leurs subdivisions.

e. Chondroplaste au centre de l'une de celles-ci, contenant deux cellules cartilagineuses non contiguës, finement granuleuses.

f, *g*. Chondroplastes analogues remplis par des cellules se comprimant réciproquement et contenant quelques grosses granulations autour de leur noyau.

h. Chondroplaste rempli par des cellules analogues aux précédentes, mais dont l'une est remplie de granules qui masquent le noyau. Ici de même que dans les chondromes on trouve un assez grand nombre de chondroplastes pleins de cellules qui sont toutes granuleuses comme celle-ci. Souvent les grands chondroplastes sont ouverts par accident pendant l'exécution des préparations, et leur contenu s'isole sous forme d'un amas de cellules; celles-ci ne se séparant pas les unes des autres dans les mouvements qu'on leur fait exécuter, ni sous l'influence de l'eau, qui ne les gonfle pas ou presque pas, se distinguent aisément par là des cellules de la notocorde. En outre, elles ne renferment pas des gouttes sarcodiques, rosées, hyalines, et sont généralement moins grandes que ces dernières cellules, etc.

ij. Grand chondroplaste incomplétement rempli par trois cellules finement granuleuses.

j. L'un des aspects donnés à la plus grosse de ces cellules par la production lente d'expansions sarcodiques qu'elle présentait encore sur ce sujet au centre de ce chondroplaste, ainsi qu'on le voit dans d'autres cartilages encore.



TROISIÈME MÉMOIRE

SUR

LES EFFETS CHIMIQUES

PRODUITS DANS LES ESPACES CAPILLAIRES

PAR M. BECQUEREL

MEMBRE DE L'ACADÉMIE

Lu dans la séance du 4 novembre 1867.

Les effets chimiques produits par les actions électro-capillaires et dont j'ai déjà eu l'honneur d'entretenir l'Académie, dans les séances du 13 juin et du 8 juillet derniers, dépendent de trois causes :

1° De l'attraction moléculaire exercée sur les parois d'espaces capillaires placés entre deux liquides différents, par ces mêmes liquides ;

2° De l'électricité dégagée au contact de ces liquides dans les espaces capillaires ;

3° De la conductibilité électrique de ces mêmes parois recouvertes d'une couche liquide, laquelle conductibilité est analogue à celle des corps solides, à l'intensité près.

L'attraction moléculaire est considérée, ici, comme on le fait ordinairement en physique, dans la théorie des phénomènes capillaires, abstraction faite par conséquent de toute idée d'affinité élective, de la part des solides, pour quelques-unes des substances tenues en dissolution dans les liquides, affinités que notre confrère M. Chevreul a parfaitement définies dans son mémoire sur les phénomènes d'affinités capillaires, communiqué à l'Académie dans sa séance du 9 juillet 1866, et qui peuvent exercer cependant, quelquefois, une influence sur les phénomènes électro-capillaires. L'affinité capillaire, suivant cet illustre chimiste, est celle qui est exercée par un corps solide sur un autre corps solide, liquide ou gazeux, sans que sa forme soit sensiblement changée.

Parmi les nombreux exemples d'effets produits par ce genre d'affinités, je me borne à citer ceux qui sont relatifs à la teinture, parce qu'ils sont caractéristiques. Lorsqu'on plonge le coton, la laine et la soie, convenablement préparées, dans certains bains de teinture, non-seulement ces corps s'approprient la matière colorante, mais encore ils le font en quantités différentes, comme on en juge à la vue; il y a donc dans ces phénomènes, indépendamment de l'attraction moléculaire, une affinité élective.

Or, dans les appareils électro-capillaires, si l'on employait des liquides capables de produire de semblables effets, c'est-à-dire des dépôts de substances diverses, en couches infiniment minces, sur les parois des espaces capillaires, les phénomènes décrits dans mes précédents mémoires pourraient être plus ou moins modifiés, attendu que la conductibilité électrique des parois recouvertes d'une couche liquide le seraient également. C'est ce que j'ai eu effectivement l'occa-

sion de remarquer, quand les espaces capillaires sont obstrués par des précipités résultant de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre.

Il peut se faire, je le répète, que les affinités capillaires exercent quelquefois leur action dans les appareils électro-capillaires; mais les causes principales des effets produits sont bien celles que j'ai indiquées précédemment.

Telles sont les considérations générales que j'ai cru devoir présenter, avant d'exposer mes nouvelles recherches sur les phénomènes chimiques produits dans les appareils électro-capillaires. Le mémoire, dans lequel elles sont exposées, est divisé en deux chapitres : le premier traite des actions électro-capillaires dans les corps inorganisés; le deuxième, dans les corps organisés.

CHAPITRE PREMIER.

NOUVELLES RECHERCHES SUR LES ACTIONS ÉLECTRO-CAPILLAIRES PRODUITES DANS LES CORPS INORGANISÉS.

§ I. — *Des couples simples composés de deux dissolutions et d'un métal non oxydable.*

Les principes en vertu desquels sont produits les phénomènes chimiques dans les espaces capillaires donnent lieu à une foule d'applications qui n'ont pu être étudiées jusqu'ici, attendu que l'un de ces principes n'avait pas encore attiré l'attention des physiciens, lequel consiste dans la propriété que possèdent les parois mouillées des espaces capillaires de remplacer les conducteurs solides non oxydables, en même temps que ces espaces permettent la réaction lente de deux dissolutions l'une sur l'autre, avec lesquels ils sont en contact, et d'où résulte un courant électrique par l'intermédiaire des conducteurs dont on vient de parler, lequel courant produit des actions chimiques qui ont fait l'objet de mes deux précédents mémoires. Tel est le principe des couples électro-capillaires.

Les couples ordinaires à courant constant sont formés de

deux liquides, dont l'un, par exemple, est une dissolution de sulfate de cuivre, l'autre de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, d'un métal oxydable, et d'un autre qui ne l'est pas, ou de charbon bon conducteur et d'un diaphragme en terre cuite. Ces deux métaux, servant d'électrodes, sont constamment dépolarisés, l'oxygène provenant de la décomposition de l'eau oxyde le métal qui est capable de l'être, tandis que l'hydrogène aide à la réduction de l'oxyde de cuivre.

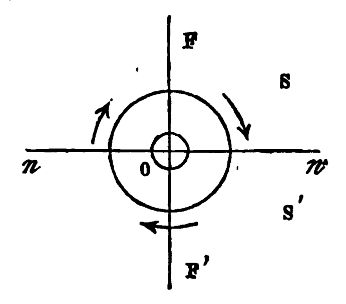
Dans les couples électro-capillaires, on prend pour dissolution celle de monosulfure de sodium ou de persulfure, mais de préférence la première, et pour dissolution métallique celle du métal dont on veut opérer la réduction; l'oxygène, provenant de la décomposition de l'eau, oxyde les deux éléments du monosulfure, tandis que l'hydrogène réagit sur l'oxyde métallique et le réduit. On a ainsi un courant constant dont le conducteur solide est la paroi de l'espace capillaire à laquelle adhère une couche très-mince de la dissolution métallique, ou de celle de monosulfure.

Je suis amené naturellement à parler des couples à deux liquides et à un seul métal ou autre conducteur non oxydable; je commencerai par rappeler un appareil de ce genre déjà employé.

L'appareil, à l'aide duquel on obtient cristallisé le protoxyde de cuivre, se compose d'un tube fermé par un bout, dans lequel on introduit du deutoxyde de cuivre et une dissolution de nitrate de cuivre, puis un fil ou une lame de cuivre, après quoi on ferme le tube.

La dissolution de nitrate de cuivre, dans son contact avec le deutoxyde, fait passer ce dernier à l'état de sous-nitrate, en même temps qu'elle devient moins saturée; deux dissolu-

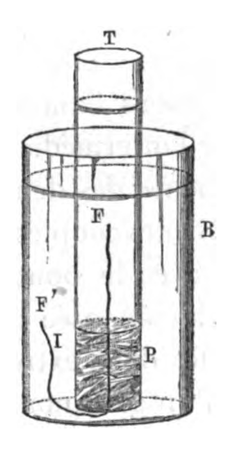
tions sont alors en contact, l'une supérieure qui est saturée, et l'autre inférieure qui ne l'est pas; la première rend libre de l'électricité positive, la seconde de l'électricité négative; les deux électricités, en se combinant par l'intermédiaire du fil de cuivre, produisent un courant, dont la direction est telle que le bout qui est dans la partie saturée est le pôle négatif, et celui qui est dans la partie non saturée le pôle positif. L'action de ce couple est telle que l'eau et le nitrate de cuivre sont décomposés, le bout supérieur se recouvre d'abord de protoxyde de cuivre, ensuite de cuivre métallique, tandis que le bout inférieur s'oxyde, ce qui augmente d'autant l'intensité du courant, puisqu'il en résulte un autre courant dirigé dans le même sens. Les réactions sont très-lentes, surtout quand le deutoxyde a été bien tassé. Une circonstance, que je vais signaler, contribue à donner une grande énergie à l'action décomposante du courant.



Soient *s* la dissolution saturée de nitrate de cuivre, et *s'* celle qui ne l'est pas; *n n'* la ligne de séparation des deux dissolutions; *ff'* le fil de cuivre. Le bout *f* sera l'électrode négative, *f'* l'électrode positive, le dégagement de l'électricité ayant lieu sur la ligne *nn'*, qui représente la séparation des

deux dissolutions, il en résulte que l'intensité du courant est la plus grande possible au point *o* et dans son voisinage, puis que la distance que parcourt le courant dans le liquide est la plus petite; le courant diminue d'intensité en s'éloignant du point *o*, aussi voit-on que le dépôt de protoxyde de cuivre qui se forme d'abord, puis celui de cuivre métallique, sont le plus abondants près du point *o*. Le courant a donc en ce point la plus grande énergie que l'on puisse obtenir; à une certaine distance, son action chimique est moins appréciable. Cette distance dépend du degré de conductibilité des liquides.

Il est facile d'expliquer maintenant les effets énergiques obtenus avec les couples simples, formés de deux dissolutions, possédant une grande force électro-motrice, et d'un métal inoxydable; nous prendrons pour dissolutions une dissolution de monosulfure de sodium marquant 10° à l'aréomètre et une autre de nitrate de cuivre, concentrée ou non concentrée. Le couple est disposé comme suit :



Soient T, un tube fermé à la partie inférieure par un tampon p de papier à filtrer mouillé ; la fermeture doit être suffisante pour que la dissolution métallique qu'on y introduit ne puisse en sortir ;

ff' fil de platine traversant le tampon ; ce tube plonge dans une dissolution de monosulfure contenue dans le bocal B ; on ne tarde pas à apercevoir des cristaux de cuivre métallique recouvrir la partie du fil de platine qui se trouve en contact avec le tampon, c'est-à-dire dans la partie où s'opère le dégagement de l'électricité provenant de la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre. Peu à peu, le fil de platine se recouvre de cuivre, et en peu de jours son diamètre qui était de un tiers de millimètre devient 10 fois plus gros.

Les dissolutions de nitrate d'argent, de sulfate de nickel, de chlorure de cobalt, substituées à celle de nitrate de cuivre, donnent des résultats semblables, c'est-à-dire que les métaux sont réduits de leurs dissolutions.

Les effets électro-chimiques, dont il est question, peuvent servir à appliquer sur un métal d'autres mélanges en couches minces ou épaisses ayant de la cohésion.

Il n'est pas possible d'établir une pile avec des couples de ce genre, attendu que les deux électricités, dégagées dans la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre, se recombinent immédiatement par l'intermédiaire de la portion du fil de platine la plus rapprochée des deux liquides. On prouve ce fait, en préparant plusieurs couples semblables et unissant le bout positif de l'un avec le bout négatif de l'autre, de manière à former une pile composée d'un seul fil. Lorsqu'on met en communication les deux extrémités de ce fil avec les deux extrémités du fil d'un galvanomètre, le circuit devient

tout métallique et il ne se produit aucun effet sensible sur l'aiguille aimantée. Il ne pourrait se produire en effet qu'un courant dérivé qui, dans ces conditions, est trop faible pour être observé, la recomposition des deux électricités ayant lieu dans chaque couple.

§ II. — *Perfectionnements apportés à la préparation des appareils capillo-électriques.*

Lorsqu'on opère avec des tubes de verre fêlés, dont il a été question dans les mémoires précédents, et dont la fente est tellement étroite que les deux dissolutions, l'une de monosulfure de sodium et l'autre de nitrate de cuivre, ou toute autre dissolution métallique, ne peuvent se mélanger immédiatement, on obtient les effets de réduction décrits dans ces mémoires; mais si la fente est encore plus étroite, on arrive à un degré tel qu'il n'y a plus de réduction, mais bien production d'un courant, comme dans le cas où les deux dissolutions réagissent l'une sur l'autre, courant dont il sera question dans le paragraphe suivant.

Mais lorsque la fissure est telle que la réduction métallique a lieu ou d'autres réactions chimiques et qu'il se produit en même temps un mélange des deux dissolutions, ce qui apporte une perturbation dans la marche des phénomènes, on rend les actions plus lentes, en même temps qu'on les régularise, en remplissant le tube fêlé de sable très-fin ou d'argile pure, telle que le kaolin; on voit alors tout ce qui se passe sur la paroi du tube, relativement aux effets de réduc-

tion; dans ce cas, les dissolutions, avant de réagir l'une sur l'autre, pour dégager l'électricité qui est nécessaire à la formation du courant, ont deux actions capillaires à vaincre: l'une est celle des parois de la fissure pour la dissolution de monosulfure ou la dissolution métallique, l'autre l'attraction des grains de sable pour cette dernière.

Le courant électrique produit dans les conditions que l'on vient d'indiquer, donne lieu nécessairement à différents produits résultant de l'oxydation des deux éléments de monosulfure, à savoir du nitrate de soude, du sulfate de soude et du sulfure noir de cuivre qui reste adhérent à la paroi extérieure du tube. Quant à la paroi intérieure elle se recouvre de cuivre ou de tout autre métal réduit, qui se sulfure dans le voisinage de la fissure quand celle-ci s'élargissant livre passage à la dissolution de monosulfure.

Il arrive quelquefois, comme la dissolution de nitrate de cobalt en est un exemple, qu'il se forme avant la réduction métallique un sous-sel ou un oxyde qui est ramené ensuite à l'état métallique par l'action électro-capillaire.

Ce mode d'expérimentation permet d'obtenir d'autres effets que des réductions; ainsi on parvient à obtenir cristallisés ou à l'état cristallin le sulfate de plomb, le silicate de zinc, etc., etc. On peut imiter ainsi les diverses productions qui se forment dans les interstices des roches, par des infiltrations excessivement lentes de dissolutions qui réagissent en même temps sur les éléments de ces roches. Il peut se faire que, dans certains cas, les affinités capillaires ne jouent pas le principal rôle; en effet: lorsqu'un corps fêlé se trouve entre deux dissolutions ayant une forte affinité l'une pour l'autre, il peut

arriver que la réaction produise immédiatement des composés insolubles qui cristallisent ; dans ce cas, les effets sont dus à des infiltrations très-lentes et rentrent dans la théorie que M. Chevreul a donnée de la production de cristaux d'oxalate de chaux dans les tissus des végétaux (*Mémoire sur les phénomènes d'affinités capillaires*, *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*).

Je ne terminerai pas ce paragraphe sans rapporter les nouveaux produits obtenus dans les fissures des tubes ou des bocaux fêlés :

1° En faisant réagir une dissolution saturée de nitrate de baryte sur de l'acide sulfurique étendu, marquant 10° à l'aréomètre, il s'est déposé sur la paroi intérieure du tube du sulfate de baryte fibreux, transparent, sans aucune apparence de forme cristalline.

2° Avec du silicate de potasse dans l'éprouvette et du sulfate de zinc dans le tube, il s'est formé dans la fissure même du silicate de zinc à l'état cristallin, sans qu'il soit possible de déterminer la forme, attendu que le produit est intercalé dans la fissure même.

§ III. — *Des courants électriques produits dans les fissures des vases de verre fêlés, sans l'intervention apparente d'une action chimique.*

Dans les phénomènes de réduction métallique produits dans les fissures des vases fêlés, et sur la surface intérieure de ces vases, en vertu d'actions électro-capillaires, ces fissures, quoique très-étroites, permettent néanmoins aux deux

liquides qui mouillent les parois, de réagir chimiquement l'un sur l'autre, dans les espaces capillaires, et de donner lieu à des effets électro-chimiques ; mais il peut arriver des cas où il y a production d'électricité sans réaction chimique apparente ; en effet :

Les fissures sont plus ou moins étroites, comme on vient de le dire, et on n'a encore aucun moyen de leur donner une largeur déterminée ; suivant cette largeur, les dissolutions se mélangent plus ou moins rapidement, en donnant lieu à des précipités ordinaires, résultant d'une double décomposition ; avec une largeur moindre, on arrive aux phénomènes électro-capillaires ; à un degré inférieur encore, on a un courant électrique, sans action chimique apparente, puisqu'on n'aperçoit aucun précipité, là où l'on devrait en obtenir ; ce courant a la même direction que si la réaction avait lieu. Enfin les fentes peuvent être si étroites, qu'il n'y a ni réduction métallique, ni courant électrique.

Nous ne nous occuperons seulement, ici, que du second cas, celui qui concerne le courant électrique, sans action chimique apparente.

Voici comment on prépare les vases destinés à ces sortes d'expériences : On prend un petit bocal, que l'on chauffe en quelques points avec une lampe à alcool, puis on touche la partie chauffée avec un tube de verre légèrement mouillé ; il se forme aussitôt des fissures ayant la forme d'une étoile ; si les fissures sont très-petites, on chauffe doucement le vase de nouveau afin de les étendre. On remplit ensuite le vase fêlé, jusqu'au dessus de l'étoile, avec une dissolution de nitrate de baryte et on le place dans un autre vase contenant de l'acide sulfurique étendu, marquant 10° à

l'aréomètre ; une lame de platine fixée à un fil de même métal est plongée dans chaque liquide; l'un et l'autre fil sont mis en communication avec le galvanomètre ; quand il ne se produit pas de courant on retire le vase fêlé, on enlève le liquide et la lame et on recommence à chauffer lentement, pour dilater de nouveau les fissures ; et on continue à agir ainsi jusqu'à ce qu'on ait obtenu un courant sans apparence de formation de sulfate de baryte. Quand on a atteint le degré voulu, alors le vase peut servir aux expériences destinées à montrer la production de courants électriques sans apparence d'actions chimiques. On a soumis successivement à l'expérience les dissolutions suivantes :

1° Une dissolution de nitrate de baryte et de l'acide sulfurique étendu ;

2° Une dissolution de cyano-ferrure potassique et une dissolution de proto-sulfate de fer ;

3° Une dissolution de chromate de potasse et une autre de nitrate de plomb ;

4° Une dissolution de monosulfure de sodium et une dissolution de nitrate de cuivre.

Avec les trois premières préparations, il y a eu dégagement d'électricité, sans apparence d'aucune réaction chimique ; s'il y en avait eu, on aurait aperçu dans la première un dépôt de sulfate de baryte ; dans la deuxième un dépôt bleu de cyanure de fer ; dans la troisième un précipité jaune de chromate de plomb : rien de semblable n'a eu lieu.

En opérant avec les dissolutions de monosulfure et de nitrate de cuivre et le vase qui avait servi à la première expérience, on a eu un courant énergique ; et quelque temps après, du cuivre métallique a commencé à se déposer dans la

fissure, mais en très-petite quantité; ainsi, un espace capillaire qui avait donné un courant électrique sans réaction chimique, avec l'acide sulfurique et le nitrate de baryte a suffi pour opérer la réduction du cuivre; mais il faut dire aussi que le courant électrique provient de la réaction du monosulfure de sodium sur le nitrate de cuivre, deux dissolutions qui dans leur contact ont une force électromotrice plus considérable que celles des autres dissolutions soumises à l'expérience; en effet, M. Ed. Becquerel a trouvé les résultats suivants :

Liquides.	Forces électro-motrices.
Eau acidulée, acide azotique	20
Persulfate de potassium et acide azotique	72
Dissolution de potasse et acide azotique	60

Cette grande intensité du courant a dû influer sur la réaction chimique, en vertu de laquelle le cuivre a été réduit à l'état métallique. Les dissolutions de monosulfure de sodium et de nitrate de cuivre ne sont pas les seules qui présentent cette particularité qui les distingue des dissolutions précédemment nommées, je citerai particulièrement l'eau rendue légèrement conductrice avec une légère addition de sel marin et l'acide nitrique concentré; pour le prouver, on opère comme il suit : on prend un petit bocal fêlé dans les conditions voulues; on applique à l'extérieur sur la fêlure avec un fil une bande de papier tournesol; on remplit ce vase d'acide nitrique et on le plonge dans un autre bocal contenant de l'eau rendue conductrice. On voit peu à peu la couleur bleue du papier virer au rouge, l'acide nitrique

a donc traversé la fissure qui avait arrêté les diverses dissolutions mentionnées plus haut.

Il se produit là, à l'égard des liquides, un effet semblable à celui que l'on obtient avec les gaz, qui ne traversent pas tous également les mêmes fissures; le gaz hydrogène est un de ceux qui jouissent de cette propriété au plus haut degré.

Je reviens sur les propriétés polaires des parois des fissures des vases fêlés, agissant comme électrodes, quand ces fissures laissent passer le courant fourni par une pile.

Lorsqu'on décompose une dissolution de nitrate ou de sulfate de cuivre contenue partie dans un vase fêlé, partie dans un autre non fêlé, où plonge le premier avec deux lames de platine, en rapport avec une pile à sulfate de cuivre composée de plusieurs couples, la décomposition se fait comme à l'ordinaire, la lame négative se recouvre de cuivre réduit, les parois de la fissure jouent alors un rôle passif; mais le courant a une faible intensité, à cause de la mince couche de liquide qui se trouve dans la fissure.

Mais il n'en est plus de même, quand le vase fêlé contient une dissolution de potasse caustique et l'électrode négative, l'autre vase la dissolution métallique et l'électrode positive; dans ce cas, en faisant abstraction de la fêlure, l'eau est décomposée, mais non la dissolution métallique, tant que les deux dissolutions ne sont pas mélangées. En général, les dissolutions métalliques ne sont décomposées qu'autant que l'électrode négative se trouve en contact avec la dissolution métallique.

Prenons maintenant deux vases fêlés contenant de l'eau acidulée et plongeant dans une dissolution de nitrate de

cuivre; dans ce cas, les parois des fissures agissent comme conducteurs intermédiaires; la paroi extérieure du vase positif se recouvre de cuivre métallique tandis que l'acide se rend sur l'électrode négative.

Cette dernière expérience prouve que lorsqu'un courant électrique traverse une dissolution métallique, dont le métal est facilement réductible, si cette dissolution traverse des fissures ou espaces capillaires, qu'au delà se trouve une dissolution non métallique et que les deux dissolutions ne se mélangent pas, ces fissures agissent alors comme des conducteurs intermédiaires. Un avantage que l'on trouve dans les fissures étroites est d'éviter le mélange des dissolutions; dans ce cas il en résulte des effets électro-chimiques que je ferai connaître ultérieurement. Il est bien entendu que les deux fissures ne servent d'électrodes qu'autant qu'elles se trouvent en contact immédiat avec la dissolution à décomposer, les deux lames de platine qui transmettent le courant se trouvant chacune dans une dissolution conductrice non métallique et qui ne se mélange pas avec l'autre, quoiqu'en contact. Cette propriété des fissures est importante à noter, attendu que, dans les formations terrestres, où il existe des roches fissurées donnant lieu à des infiltrations, il doit se produire des effets semblables à ceux dont il vient d'être question, et même d'autres actions électro-chimiques que des réactions.

On sait aujourd'hui, d'après les expériences faites par divers physiciens et notamment par M. Matteucci, au moyen des conducteurs aériens et terrestres des lignes télégraphiques, entre diverses stations, qu'il circule continuellement dans la terre des courants électriques qui troublent le service des

dépêches transmises par le télégraphe électrique. Ces courants doivent se ramifier dans toutes sortes de directions; là où il existe des liquides et des roches fissurées en contact avec d'autres liquides, il doit se former, par conséquent, une infinité de couples semblables aux précédents.

Il existe en outre dans le sol des racines, des plantes en décomposition qui produisent également des courants dérivés donnant lieu à des effets électro-chimiques. Comment expliquer la production d'électricité dans les espaces capillaires sans action chimique apparente? Si cette action avait lieu, on observerait un précipité résultant d'une double décomposition.

On peut faire à cet égard plusieurs suppositions: la première est d'admettre que, les réactions chimiques étant excessivement faibles, il y a production d'un courant électrique sans que l'on aperçoive de longtemps des effets chimiques qui l'ont produit.

La deuxième repose sur cette hypothèse que, les fissures étant excessivement étroites, l'attraction moléculaire en vertu de laquelle a lieu l'action capillaire lutte pour empêcher le passage des deux dissolutions et la réaction des deux dissolutions l'une par l'autre au contact. De nouvelles recherches permettront peut-être de résoudre cette question qui n'est pas sans importance pour la philosophie naturelle.

Je dois faire remarquer que les actions chimiques produites dans les espaces capillaires sont de deux ordres : le premier ordre comprend les actions qui ont une origine électrique, et que, pour ce motif, j'ai appelées électro-capillaires: elles comprennent tous les phénomènes de réduction; le deuxième ordre se compose des phénomènes dus aux affini-

tés de deux dissolutions réagissant l'une sur l'autre très-lentement, dans les fissures ou intervalles capillaires, en ne produisant pas un mélange immédiat. De cette action très-lente résultent des composés cristallisés ou à l'état cristallin, et quelquefois à l'état amorphe.

Une autre question reste à résoudre : les produits observés dans les fissures varient suivant la largeur des fissures ou des fentes ; lorsqu'il s'agit de la réduction des métaux, on obtient un simple précipité non métallique, un dépôt métallique, amorphe ou cristallisé, ou bien absence de réduction, quoiqu'il y ait production de courant électrique. Pour savoir quel est l'effet qui convient à cette largeur de fissure, il faut avoir un moyen de mesurer cette largeur. C'est ce dont je m'occuperai dans un prochain mémoire.

CHAPITRE II.

DES COURANTS ÉLECTRO-CAPILLAIRES DANS LES VÉGÉTAUX.

---

§ I. — *Considérations générales sur l'intervention des forces physiques dans les phénomènes de la vie.*

Rechercher la part des forces physico-chimiques dans les phénomènes de la vie végétale est une question tellement remplie de difficultés, qu'on ne saurait s'entourer de trop de documents, pour entrevoir seulement le rôle que ces forces jouent, étant sans cesse modifiées, maîtrisées par celles dites de tissu. Il faut bien connaître la disposition de ces tissus, principes organiques et les changements qu'ils éprouvent, quand la vie cesse, pour apprécier leur influence sur les premières.

On conçoit que l'on puisse s'égarer dans ces recherches, quand on les entreprend avec des idées déjà arrêtées sur la

cause des phénomènes organiques; celui qui attache une trop grande importance aux forces physiques et chimiques, ne voit dans la vie que des résultats de l'attraction moléculaire et des affinités; c'est ainsi que Tournefort a comparé l'accroissement des plantes à celui des minéraux, et que Malebranche a confondu l'organisation des animaux avec celle des machines. D'un autre côté, quelques physiologistes n'ont voulu voir et ne voient encore que des forces particulières, *sui generis*, dans lesquelles les forces physiques et chimiques n'interviennent en rien. La vérité se trouve probablement entre ces deux opinions.

Le but que l'on doit se proposer est de rechercher dans les phénomènes de la vie la part des forces physiques et celle des forces chimiques, lesquelles s'exercent par l'intermédiaire des tissus, des membranes, qui séparent des liquides de nature différente et produisent des effets d'endosmose, de dialyse et des effets électro-capillaires, qui disparaissent peu à peu quand la vie a cessé; mais je ne m'occuperai, ici, que de ces derniers effets, qui ont fait le sujet de mes deux derniers mémoires, et du rôle qu'ils jouent dans la nature inorganique.

Je rapporterai d'abord quelques exemples propres à montrer l'intervention des forces physiques et chimiques dans les phénomènes de la vie.

Dans la digestion, par exemple, l'action chimique a la plus grande part à son accomplissement; la vie n'existant plus, aucun phénomène ne s'accomplit plus.

Dans la circulation du sang il y a une force mécanique puissante, qui réside dans le cœur, laquelle lance le sang dans les vaisseaux; quel est le point de départ de cette

puissance mécanique, quelle en est la cause, c'est une influence vitale, c'est une influence nerveuse, deux actions qui n'en font qu'une; en effet, détruisez les centres nerveux encéphalo-rachidiens ou ganglionnaires, le cœur cessera de battre et le sang ne passera plus dans les artères. C'est dans ce cas-ci, comme dans le précédent et dans mille autres, une action vitale primitive, qui a pour conséquence une action physique ou mécanique, qu'elle gouverne, modifie et annule quelquefois. La force de tissu et l'influence nerveuse jouent un grand rôle dans ces phénomènes.

Considérons donc un corps d'origine animale ou végétale comme composé d'organes formés de tissus, doués de propriétés physico-chimiques qui subsistent tant que dure la vie ; celle-ci cessant, les tissus se relâchent, l'imbibition commence bientôt après, puis la décomposition et la désorganisation deviennent complètes.

On distingue donc quatre forces dans les corps organisés: 1° l'attraction moléculaire; 2° les forces physico-chimiques comprenant les affinités; 3° la force de tissu et celle qui caractérise l'action nerveuse; 4° la force intellectuelle qui est hors de la portée de l'homme et dont nous n'avons pas à nous occuper.

Je ne parlerai, ici, que des forces physico-chimiques dérivant des actions électro-capillaires, dans les végétaux, en indiquant d'abord quelques-uns de leurs principaux organes qui feront le sujet des expériences et dont la description est indispensable : 1° la tige des végétaux dicotylédonés; 2° les racines.

Un des principaux éléments organiques des végétaux et qu'il importe le plus de connaître, comme on le verra plus

loin, est le tissu cellulaire, de nature membraneuse et qui est formé d'un grand nombre de cavités ou cellules fermées de toutes parts; réuni en masse, il constitue le parenchyme.

Les champignons, les algues, ainsi que les jeunes plantes, sont formés uniquement de tissu cellulaire. Les feuilles, la moelle, l'écorce en sont composées en grande partie.

Les diamètres des cellules varient de $0^{mm}04$ à $0^{mm}08$.

Les cellules, suivant les saisons, sont tantôt pleines d'un suc aqueux, tantôt d'air, et on aperçoit fréquemment dans leur intérieur de petits grains de fécule.

Dans les cellules des parenchymes foliacées, il existe d'autres petits globules fréquemment appliqués contre les parois et qui se colorent ordinairement en vert sous l'influence solaire. Ces globules, de nature résineuse, forment la matière verte des feuilles, appelée chlorophylle.

Plusieurs botanistes admettent que les cavités sont destinées à recevoir des liquides par des vaisseaux serpentant entre leurs parois.

D'autres botanistes pensent que le végétal est composé de vésicules plus ou moins serrées, séparées par des interstices visibles, connus sous la dénomination de méats intercellulaires.

Amici a avancé que ces méats sont remplis d'air. Cette opinion a été contestée.

On considère en général les méats comme des espaces vides existant dans les cellules, et n'ayant pas d'autres parois que celles des cellules. La plupart du temps, ils sont remplis d'eau, quelquefois d'air et paraissent recevoir des sucs propres. Mais l'eau et l'air ne sont pas purs probablement; cette considération est importante, car de leur nature ré-

sultent des effets électro-capillaires dont je parlerai plus loin.

Parmi les propriétés des cellules ou vésicules formant le tissu cellulaire, je mentionnerai seulement : 1° la faculté qu'elles possèdent de se souder; 2° celle d'être éminemment hygroscopiques, c'est-à-dire d'absorber les liquides avec lesquels elles se trouvent en contact. Les liquides déposés dans les cellules y subissent, selon les botanistes, une élaboration particulière, produisant les substances qui s'y trouvent. Cette propriété est une des principales bases des phénomènes de la vie végétale, qu'il importe de mentionner.

Il existe en outre des vaisseaux ou tubes cylindriques, parmi lesquels on distingue les vaisseaux lymphatiques et les vaisseaux séveux.

Bien qu'il y ait divergence dans les opinions, quant à leur usage, on est généralement d'accord sur ce point qu'ils ne contiennent pas de suc propre. On n'y trouve pas effectivement la séve élaborée par les feuilles, puisque les vaisseaux manquent la plupart dans l'écorce, où passent les sucs élaborés en plus grande portion. Quant aux liquides qu'ils transportent, il y a divergence dans les opinions ; M. de Candolle les considère comme aériens, mais pouvant servir quelquefois au passage de la lymphe.

Dans nos recherches, on a un intérêt tout particulier à posséder des notions exactes sur les fibres et les couches du bois qui servent de bases aux expériences.

On aperçoit dans la coupe transversale de la tige d'une plante vasculaire des points plus compactes que le reste du tissu ; dans la coupe longitudinale, ces points sont les coupes d'autant de filets longitudinaux, qui sont les fibres du

bois, composées de faisceaux de vaisseaux entremêlés de tissu cellulaire allongé; c'est en suivant le sens longitudinal des fibres, surtout le sens ascendant, que les sucs se dirigent. Les fibres distribuées circulairement autour d'un axe prennent le nom de couches.

Il importe aussi de connaître l'épiderme ou la cuticule, qui recouvre la superficie des plantes, et dont le rôle est de retenir l'humidité et de n'en laisser échapper qu'une très-faible portion; dans les troncs d'arbres; il en développe et abrite le tissu cellulaire contre l'humidité et la gelée.

Le corps ligneux ou tronc d'arbre, composé d'un nombre considérable de cônes emboîtés l'un sur l'autre et qui, coupé transversalement, offre autant de couches concentriques.

D'après les observations de Dutrochet, chacune des couches est formée de deux parties principales qu'il importe de connaître à cause des effets électro-capillaires résultant de cette organisation et dont je parlerai plus loin.

Chacune des couches est formée de deux parties principales :

1° D'une zone de tissus arrondis, située du côté intérieur;

2° D'une zone de fibres ou de faisceaux de vaisseaux, et de cellules allongées, situées du côté extérieur.

La couche la plus intérieure et la plus ancienne constitue la moelle.

Toutes les couches suivantes, offrent la même organisation; il résulte de là, d'après Dutrochet, qu'une zone de moelle sépare deux zones de fibres, de deux années successives. Cet appareil est traversé du centre à la circonférence par des lames de même nature que la moelle et

qui dans la coupe transversale ont l'apparence des rayons d'une roue; ce sont les rayons médullaires.

Les cellules qui composent la moelle sont plus grandes, plus spongieuses que celles du reste du tissu.

La moelle n'a de vie, d'action que dans les premiers moments des développements du bourgeon ; c'est donc un réservoir dans lequel la jeune pousse puise sa nourriture.

Les moelles des années suivantes jouissent des mêmes propriétés.

On a vu précédemment que les couches ligneuses qui se trouvent entre la moelle centrale et le corps constituent le bois de l'arbre qui est composé de fibres ligneuses.

Il se forme, dès la première année, une couche qui est l'aubier.

A la deuxième année, une seconde couche placée immédiatement en dehors de la première l'entoure, ainsi de suite chaque année ; pendant ce travail, les couches déjà formées acquièrent plus de dureté par les dépôts de matières transportées par les sucs qui les traversent. Après quoi, au bout d'un certain temps, la consistance des couches n'augmente plus.

Il est à remarquer que l'aubier, étant formé de couches assez jeunes pour acquérir de nouvelles molécules, n'a pas la même consistance que le bois.

Le système cortical a la même organisation que la partie centrale du bois, si ce n'est qu'elle est en sens inverse. Il est formé de couches ayant chacune une zone fibreuse à l'intérieur et une zone cellulaire à l'extérieur, lesquelles zones sont traversées par des rayons médullaires semblables à ceux du système ligneux, mais moins prononcés.

A cette inversion dans l'organisation correspondent des effets électriques inverses entre les diverses couches. A l'extérieur des couches corticales se trouve une zone de tissu cellulaire, appelé enveloppe cellulaire, qui n'est autre qu'une nouvelle couche extérieure.

Je n'entre pas dans d'autres détails sur l'organisation des végétaux, attendu qu'ils suffisent pour l'interprétation des effets électro-capillaires que je vais exposer.

Si l'on veut concevoir l'influence de ces effets, il faut se rappeler les effets chimiques produits dans les espaces capillaires, en vertu d'actions que j'ai appelées électro-capillaires, qui se manifestent quand deux dissolutions se trouvant entre les espaces, contiennent, l'une, des éléments qui peuvent s'oxyder, l'autre, des éléments qui au contraire peuvent se désoxyder. De la réaction de ces deux dissolutions dans les espaces capillaires, il résulte des courants électriques continus, agissant comme forces chimiques, de telle sorte que l'eau est décomposée ainsi que d'autres substances; l'oxygène oxyde d'un côté, l'hydrogène réduit de l'autre, les surfaces servant d'électrodes étant constamment dépolarisées peuvent fonctionner sans interruption.

Or, dans les corps organisés, ces conditions sont remplies, puisqu'il existe des tissus des membranes des vaisseaux dans lesquels circulent des liquides, mais il n'est pas aussi facile de les mettre en évidence que dans les corps inorganiques, où les produits formés sont visibles à la première vue; ce sont ou des métaux réduits ou des précipités plus ou moins colorés, tandis que, dans les corps organisés, ces produits sont souvent solubles et incolores.

Le moyen le plus direct pour aborder cette question, dans

les corps organisés est de chercher quels sont les effets électriques produits dans ces corps, quand on introduit deux aiguilles de platine, en relation avec un galvanomètre à fil long, très-sensible, dans deux parties plus ou moins éloignées d'un végétal et séparées par un ou plusieurs tissus; s'il y a homogénéité dans les liquides intermédiaires, il n'y a aucun effet électrique de produit; dans le cas contraire, on obtient un courant, dont la direction indique la face de la membrane qui est le pôle positif, et celle qui représente le pôle négatif d'un couple électro-capillaire; on en tire, en outre, la conséquence que l'un des liquides joue le rôle d'acide et l'autre celui d'alcali. Passons aux expériences: rappelons les principaux faits observés, en vue surtout de leur application à l'interprétation des phénomènes d'élaboration qui ont lieu dans les tissus des corps organisés.

§ II. — *Des effets produits dans la tige des végétaux.*

Supposons qu'on ait mis à découvert avec un instrument tranchant une coupe transversale d'une jeune tige de peuplier, de chêne, d'érable, etc., lorsque l'arbre est en feuilles et en pleine séve, de manière à montrer les couches concentriques dont elle se compose, ainsi que la moelle qui accompagne chacune d'elles; si l'on introduit simultanément les extrémités de deux aiguilles de platine non polarisées, en relation avec un galvanomètre très-sensible, l'une dans la moelle centrale appartenant par conséquent à la première couche formée, l'autre dans l'une des enveloppes d'une autre couche et même de l'écorce, l'aiguille aimantée est déviée

plus ou moins, suivant l'état séveux du végétal et la position de la nature de la couche explorée, il se produit un courant électrique dont le sens indique que la moelle fournit constamment l'électricité positive dans sa réaction sur les liquides adjacents en enlevant l'aiguille qui avait été introduite dans la moelle, et la plaçant dans une partie plus rapprochée; de l'autre, le courant est encore dirigé dans le même sens. Quand il est possible de distinguer dans l'une des couches intermédiaires la partie médullaire, on trouve que la moelle est toujours positive relativement aux parties environnantes.

On a le maximum d'effet quand l'une des aiguilles se trouve dans la moelle centrale et l'autre entre l'écorce et le ligneux; le courant a quelquefois une assez grande intensité.

En opérant sur l'écorce, dont on a enlevé l'épiderme, plaçant l'une des aiguilles sur la surface privée de son épiderme et l'autre sur la surface intérieure de l'écorce, le courant est dirigé en sens inverse du précédent. En enlevant celle-ci et la rapprochant de l'autre, les effets sont les mêmes, à l'intensité près; or, la surface extérieure étant parenchymeuse, formée d'un tissu cellulaire, on peut donc déjà poser en principe que, dans les expériences dont il est question, quelle que soit l'espèce à laquelle le végétal appartient, la moelle et le jeune tissu cellulaire sont toujours positifs, du moins les liquides qui les humectent, à l'égard des liquides qui se trouvent dans les diverses parties du ligneux.

Ce fait important conduit aux conséquences suivantes :

1° Le liquide de la moelle et celui du jeune tissu cellulaire sont plus oxygénés que celui du ligneux, qui contient par conséquent des matières plus oxydées, ce qui est d'accord avec ce qui a été dit précédemment, le tissu cellulaire

étant l'élément organique du ligneux et la moelle fournissant aux jeunes bourgeons les sucs dont ils ont besoin pour leur développement.

2° La face du ligneux qui est en contact avec la moelle est le pôle négatif et la face opposée le pôle positif; il en est de même des faisceaux de vaisseaux, dans lesquels circulent les liquides aspirés par les racines et où commence à s'élaborer la séve. Ces faisceaux de vaisseaux étant enveloppés de tissu cellulaire, leur surface intérieure se trouve être le pôle positif, et la face contiguë au tissu cellulaire le pôle négatif; l'action réductive doit donc avoir lieu sur cette dernière, et l'action oxydante sur la surface intérieure; ce qui s'accorderait assez avec les observations de M. Payen qui a montré que le ligneux pur est un mélange de différents corps et que la surface qui le compose est formée de cellules allongées, tapissées à leur intérieur d'une matière dure et amorphe, en couches plus ou moins irrégulières.

Quelques nouveaux développements sur les effets électriques produits dans les végétaux ne seront pas sans intérêt pour la physiologie : prenons un fragment d'écorce détachée d'une jeune branche d'aune ou de peuplier, en pleine séve, et dont on a enlevé l'épiderme; sur chacune de ses faces appliquons une lame de platine en communication, au moyen d'un fil de même métal, avec un galvanomètre, et plaçons le tout entre deux petites planchettes de bois, sous une pression de deux kilogrammes, il se produit aussitôt un courant dirigé dans le sens indiqué précédemment, la lame appliquée sur la surface extérieure prend l'électricité positive; en ouvrant le circuit pour dépolariser les lames et le refermant quelque temps après, on trouve que l'intensité du cou-

rant diminue chaque fois, même en humectant les surfaces avec de l'eau distillée.

L'intervention de l'air paraît être la cause de la diminution de l'intensité du courant, car on n'observe rien de semblable, quand on ne détache pas l'écorce du ligneux pendant plusieurs jours et qu'on opère en introduisant une des lames entre l'une et l'autre; il faut donc en conclure que le liquide qui humecte la séve s'oxyde au contact de l'air.

Le même mode d'expérimentation peut être employé pour montrer la promptitude avec laquelle l'air réagit sur la séve pour modifier sa composition.

Supposons que l'on ait introduit transversalement, sous l'épiderme d'une branche de peuplier, au milieu du parenchyme, deux aiguilles de platine, en relation avec un galvanomètre, à une distance de un centimètre l'une de l'autre, il ne se produit aucun effet électrique, tant que l'introduction est simultanée; mais, vient-on à retirer l'une d'elles, aussitôt qu'on l'introduit de nouveau, quelques instants après, à la place où elle se trouvait auparavant ou à peu près, l'aiguille aimantée est déviée et le sens de la déviation indique que l'aiguille de platine déplacée, puis replacée, prend l'électricité négative, ce qui indique que la couche de liquide humectant l'aiguille s'est oxydée.

L'écorce ainsi que la partie ligneuse du bois constituent, chacune, une série de couples électro-capillaires, disposés inversement et chaque couple de la série fonctionne isolément, quoique dans une dépendance mutuelle sous le rapport de leur organisation.

On voit donc que les effets électriques dans le système ligneux sont inverses de ceux qui ont lieu dans le système

cortical, ce qui s'accorde avec la position du tissu cellulaire dans les deux systèmes.

Quel rôle joue le parenchyme dans les effets électriques obtenus; les expériences suivantes répondront à cette question : On prend une branche de jeune peuplier, en pleine séve, dans laquelle on pratique une section transversale, puis l'on introduit l'une des aiguilles entre l'écorce et le ligneux et on applique l'autre sur le parenchyme, après avoir enlevé l'épiderme, l'aiguille est déviée dans un sens indiqué précédemment; on retire cette dernière aiguille, puis on enlève la partie verte avec un couteau d'ivoire et on pose l'aiguille sur la partie dénudée; la déviation de l'aiguille aimantée est sensiblement la même. On enlève encore une nouvelle couche, la déviation a lieu dans le même sens, mais elle est un peu moins forte. En continuant à enlever successivement le parenchyme jusqu'au ligneux, les effets électriques sont les mêmes et ne cessent que lorsqu'il ne reste plus que le liquide entre l'écorce et le ligneux. Toutes les couches parenchymeuses jouissent donc à peu près des mêmes propriétés à l'égard de ce dernier.

Il résulte de ces expériences qu'à la limite, lorsque les deux aiguilles ne sont séparées que par un simple tissu, on obtient encore un courant électrique, lequel a une direction déterminée par rapport au parenchyme; la conséquence qu'on doit en retirer, en se reportant aux effets chimiques dus aux actions électro-capillaires, est que la face du tissu qui est du côté de la moelle est le pôle négatif et la surface opposée le pôle positif. Cette conséquence est applicable aux tiges de tous les végétaux et doit être prise en considération dans l'étude des transformations qu'éprouve la séve, dès l'instant qu'elle entre dans le corps de l'arbre, par les spon-

gioles des racines. On voit par là qu'il y a des phénomènes non interrompus de décomposition et de recomposition chimique, sous l'empire de la vie, lesquels ne cessent que lorsque les tissus ont perdu cette force qui s'oppose à l'imbibition, précurseur de la décomposition. Pour l'instant, il est impossible de tirer d'autres inductions des faits observés.

Dans les plantes herbacées et les plantes grasses, comme les cactus, les euphorbes, composées presque uniquement de parenchyme, il devient très-difficile d'observer les effets électriques dont il vient d'être question.

La séve ascendante étant plus oxygénée que la séve parenchymateuse, dite descendante, doit dégager, dans sa réaction sur cette dernière, de l'électricité positive, comme cela a lieu effectivement.

On met en évidence les altérations qu'éprouve au contact de l'air la séve qui afflue dans les feuilles, en opérant comme il suit : on superpose un certain nombre de feuilles, trente ou quarante, les unes au-dessus des autres et dans le même sens ; on les comprime fortement et on introduit ensuite les deux aiguilles de platine, dans la masse des feuilles, l'une d'un côté, l'autre de l'autre ; on en retire une qu'on laisse quelques instants au contact de l'air, puis on la remet en place. On trouve, comme précédemment, que cette dernière prend également l'électricité négative. L'effet produit est dû à la réaction de la séve qui a été exposée à l'air sur celle qui se trouve dans le parenchyme de la feuille.

Les feuilles de lierre donnent une certaine déviation; celles de peuplier d'Italie un peu plus ou moins forte, suivant que les branches auxquelles appartiennent les feuilles sont jeunes ou vieilles.

Il est facile de comparer ensemble les altérations qu'éprouve la séve qui se trouve dans les feuilles de végétaux d'espèces différentes, telles que celles de sureau, de noyer, etc., etc. 20 feuilles de l'une et 20 feuilles de l'autre sont mises en contact par une de leurs faces, puis comprimées; on introduit dans la masse sur chaque face une des aiguilles de platine ; on retire l'une d'elles et on la remet à la même place : quelques instants après, l'aiguille du galvanomètre est déviée, dans un sens indiquant que la séve humectant l'aiguille retirée s'est oxydée au contact de l'air, et a pris l'électricité négative; l'amplitude de la déviation varie avec l'espèce appartenant à la feuille, comme on le voit par les résultats suivants obtenus avec deux groupes de feuilles superposées de noyer et de sureau.

L'aiguille introduite et retirée, puis remise donne avec	Déviation par 1re impulsion.	Déviation par 1re impulsion.
1re EXPÉRIENCE.		
Le sureau	13d	»
Le noyer	»	24d
2e EXPÉRIENCE.		
Le sureau	13d	»
Le noyer	»	22d
3e EXPÉRIENCE.		
Le sureau	11d	»
Le noyer	»	24d

Ces résultats indiquent que la séve du noyer éprouve au contact de l'air une altération plus rapide que celle du

sureau, puisque le courant, à conductibilité égale, dans les circonstances où l'on a opéré, a une intensité à peu près double. On admet que jusqu'à vingt et quelques degrés de déviation l'intensité du courant est égale à la déviation. Le même procédé d'expérimentation peut servir à étudier la marche des altérations, en prolongeant plus ou moins le contact avec l'air, de l'aiguille aimantée de la séve.

Conclusions à tirer : On distingue dans la tige d'un végétal dicotylédoné deux parties distinctes, l'écorce et le ligneux. Dans l'écorce, l'état électrique de toutes les parties est inverse de celui du ligneux. L'épiderme est éminemment positif par rapport aux parties contiguës, et ainsi de suite jusqu'au liquide interposé entre l'écorce et le ligneux qui est éminemment négatif. Dans le ligneux, c'est l'inverse, l'état positif va en augmentant jusqu'à la moelle qui est positive, même relativement à l'épiderme.

Ces effets sont en rapport avec la position du tissu cellulaire dans l'écorce, et dans le corps de l'arbre.

§ III. — *De l'état électrique du sol dans son contact avec les végétaux.*

Les racines, dites fibreuses, sont ordinairement munies de chevelu; celles qu'on nomme racines tubéreuses, sont assez épaisses et toutes leurs spongioles sont réunies en un seul faisceau à l'extrémité du cône; le tissu cellulaire de l'écorce des racines est généralement fort dilaté; il se ramifie peu ou point et ne montre que çà et là des fibrilles de chevelu.

On appelle spongioles certaines parties extérieures du

tissu qui termine le tissu des racines, sans organisation bien particulière, et qui ont une grande tendance à absorber les liquides avec lesquels les racines sont en contact. Elles sont formées d'un tissu cellulaire très-serré, composé de cellules arrondies.

Il résulte de ce court exposé que les racines des végétaux sont en contact avec le sol et les liquides qui l'humectent par l'intermédiaire d'un tissu cellulaire plus ou moins serré. Il doit par conséquent se produire, indépendamment des phénomènes d'endosmose et de dialyse, des phénomènes électro-capillaires qui ont toujours lieu, quand une membrane ou un tissu sépare deux liquides de nature différente.

Il résulte de cet état de choses qu'il doit exister entre le liquide qui se trouve dans le chevelu et celui qui humecte le sol, lequel est aspiré par les spongioles, des effets électriques produisant des actions chimiques dans les espaces capillaires.

On étudie cette question comme on le fait à l'égard du ligneux et de l'écorce; on emploie à cet effet des aiguilles de platine dépolarisées. On introduit une des aiguilles dans une partie quelconque d'une tige ou d'une branche, à l'exception de la moelle, et l'autre dans un sol humide à une distance plus ou moins considérable des racines; la déviation de l'aiguille aimantée indique la production d'un courant électrique, dont la direction montre que la terre est positive et le liquide des tissus négatif. Si la première aiguille est introduite dans la moelle, les effets sont faibles ou nuls, à cause de l'état positif de cette dernière, relativement à toutes les autres parties du ligneux.

Les végétaux, quels qu'ils soient, même ceux qui ont une

tige herbacée, tels que la balsamine, le dalhia, donnent les mêmes résultats.

On peut tirer delà la conséquence suivante : la terre étant constamment positive relativement aux végétaux, dans son contact avec ces derniers, l'eau et les substances qu'elle contient et qui pénètrent dans les racines par les spongioles, est plus oxygénée que les liquides qui s'y trouvent déjà; il faut donc que, pendant le passage, il se produise une oxydation qui est en quelque sorte la première élaboration de la séve. Cet effet résulte évidemment de l'action électro-capillaire précédemment décrite.

Là s'arrêtent les conséquences à tirer des phénomènes observés; il faut en appeler à de nouvelles expériences pour être à même de suivre les changements qu'éprouve la séve dans sa marche ascendante, jusqu'à son passage dans les feuilles et dont il a été question précédemment.

§ IV. — *Courants électro-capillaires dans la pomme de terre, la carotte, la betterave*, etc.

La pomme de terre, en raison d'une organisation simple, se prête facilement aux recherches électro-capillaires, analogues à celles dont les tiges dicotylédonées ont été le sujet précédemment.

Ce tubercule se compose d'un tissu cellulaire, dans les interstices duquel se trouve la fécule, le tout est pénétré d'un liquide qui le rend plus ou moins aqueux. Ce liquide est-il le même depuis l'épiderme jusqu'au centre? Les phé-

nomènes électriques observés dans les diverses parties permettent de résoudre cette question.

Bien que la pomme de terre paraisse avoir une organisation régulière, on y distingue néanmoins les parties suivantes à la loupe :

1° Un épiderme;

2° Une zone cellulaire analogue à l'écorce;

3° Quelques vaisseaux épars représentant le ligneux;

4° Une masse cellulaire formant la plus grande partie du tubercule, et que l'on compare à la moelle des tiges;

5° Ce tubercule présente dans son organisation plusieurs couches concentriques dont les rudiments seulement sont visibles.

On peut donc en conclure, d'après ce qu'on observe dans la tige de ce végétal, que chacune des parties séparées par un tissu, explorée avec deux aiguilles de platine, donne un courant électrique indiquant que ces mêmes parties contiennent des liquides qui n'ont pas une composition identique, ce qui a lieu tant que la maturité n'est pas complète; mais pour peu que le tubercule reste exposé à l'air pendant plusieurs jours, il verdit, et la partie qui a éprouvé ce changement devient éminemment positive par rapport au reste.

Il est très-difficile de trouver la ligne de séparation de la partie verte et de celle qui ne l'est pas, attendu que la première se fond pour ainsi dire dans la seconde. Dans cet état, on obtient les résultats suivants avec les aiguilles : la partie extérieure du tubercule est constamment positive, relativement à la partie centrale, et d'autant moins qu'on approche de cette dernière qui paraît être négative à l'égard de tout ce qui l'entoure. Ces effets sont inverses de ceux que

l'on obtient avec les tiges des végétaux monocotylédonés, puisque la moelle est positive relativement aux couches ligneuses jusqu'au liquide intermédiaire, c'est-à-dire jusqu'à l'écorce, puis les effets deviennent inverses.

Cet état de choses dans la pomme de terre semble indiquer que les cellules qui contiennent les grains de fécule imprégnés d'un liquide qui les tient constamment humides, abstraction faite des vaisseaux qui peuvent concourir au transport de ces liquides, participent à l'état électrique dont on vient de parler; les cellules qui sont les plus rapprochées du centre sont moins positives que celles qui en sont plus éloignées. D'un autre côté, l'intervalle entre ces cellules est rempli d'air, ou de gaz, ou de liquide; tous ces liquides sont séparés par des tissus, des membranes, par l'intermédiaire desquels se produisent des effets électro-capillaires décrits dans mes précédents mémoires.

Mais si l'état électrique général est tel que je viens de le décrire, on serait porté à en conclure que, de deux cellules contiguës, celle qui est la plus rapprochée du centre est négative par rapport à l'autre; la surface intérieure de la cellule la plus près du centre serait le pôle négatif par rapport à celle qui est plus éloignée; les produits oxydés sembleraient augmenter en s'éloignant de la périphérie. Malheureusement on n'a pas d'aiguilles de platine assez fines pour les introduire l'une dans une cellule, l'autre en dehors, seul moyen d'apprécier avec exactitude leur état électrique; mais on y supplée jusqu'à un certain point en déterminant un état électrique général comme on l'a fait.

Dans l'emploi des aiguilles de platine pour explorer les deux parties des tubercules, comme on l'a fait à l'égard des

couches ligneuses, il faut au préalable les laver avec de l'eau distillée, les chauffer au rouge pour détruire les matières organiques et enlever les gaz qui les polarisent, puis attendre que les aiguilles soient entièrement froides, afin d'éviter une complication dans les effets produits, résultant de l'échauffement des liquides en contact avec les aiguilles; il est d'autant plus important de faire rougir les aiguilles, après chaque expérience, que, lorsqu'on les retire du tubercule, ou d'un végétal, elles se trouvent imprégnées de sucs qui, s'altérant au contact de l'air, acquièrent ainsi la propriété de produire des courants, en les remettant en place, indépendamment des courants primitifs.

Tels sont les effets d'oxydation et de réduction observés jusqu'ici dans l'intérieur des végétaux sous l'influence des actions électro-capillaires. Ces effets sont autant de points de repère auxquels devront se rattacher les recherches entreprises dans le but d'étudier la formation des divers composés qui se trouvent dans les tissus des végétaux.

QUATRIÈME MEMOIRE

SUR

LES EFFETS CHIMIQUES

PRODUITS PAR LES ACTIONS ÉLECTRO-CAPILLAIRES.

PAR M. BECQUEREL

Membre de l'Institut.

Lu dans la séance du 13 janvier 1868.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION ET EMPLOI DE NOUVEAUX APPAREILS ÉLECTRO-CAPILLAIRES.

§ Ier. — *Description des nouveaux appareils.*

Les premiers appareils électro-capillaires qui m'ont servi à réduire la plupart des métaux à l'état métallique se composaient de tubes fêlés irrégulièrement, les fêlures n'ayant pas les mêmes dimensions dans toute leur étendue; lorsqu'elles étaient trop étroites, aucun effet ne se manifestait; quand elles étaient trop larges, il se formait un précipité au



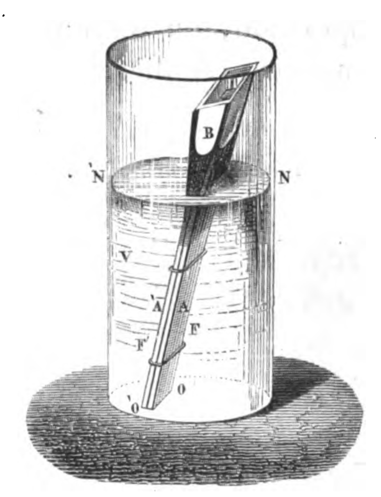
contact des deux dissolutions et la réduction n'avait pas lieu.

Avec de tels appareils, il devenait impossible d'expérimenter dans des conditions données, but que l'on doit toujours se proposer quand on cherche les lois auxquelles est soumise la production des phénomènes que l'on étudie; il était alors indispensable, pour compléter la solution de la question dont j'ai déjà eu l'honneur d'entretenir l'Académie à plusieurs reprises, de construire des appareils fonctionnant toujours sans interruption et dans des conditions données.

J'ai commencé par remplacer les tubes et même les vases fêlés par deux lames de verre superposées, de 7 à 8 centimètres de côté et même plus, et maintenues en contact au moyen de fils enduits de cire. Ces lames étaient placées horizontalement, et la lame supérieure était percée au milieu d'une ouverture à laquelle était adapté verticalement, avec du mastic, un tube destiné à recevoir la dissolution, qui devait être placée entre les lames; mais il arrivait souvent que les surfaces, étant gauches ou gondolées, les espaces capillaires qui les séparaient, malgré les ligatures, n'avaient pas partout la même étendue. Tantôt les ouvertures à l'extrémité des lames étaient plus larges dans certaines parties que dans d'autres; il en résultait que la dissolution métallique qui se trouvait entre les lames de verre, s'écoulait plus rapidement par les premières que par les secondes, ce qui nuisait à l'expérience, jusqu'au point quelquefois d'empêcher la production des effets dus aux actions électro-capillaires, laquelle exige, pour se manifester, des espaces capillaires d'une étendue déterminée. Il résulte de là que l'on prépare souvent un certain nombre d'appareils, sans obtenir d'effets satisfaisants.

Il n'en est plus de même en prenant des lames étroites de 1 centimètre environ de largeur et même moins; on n'a plus à craindre alors autant que les surfaces de contact ne soient pas planes et que les espaces capillaires ne soient uniformes. L'expérience a confirmé cette conjecture.

La figure ci-après indique la disposition de l'appareil qui réunit les conditions nécessaires pour assurer le succès des expériences faites en vue d'arriver à des moyens de mesure.



A A′ les deux lames de verre superposées placées verticalement.

B petite caisse en verre formée de lames mastiquées sur les bords, destinée à recevoir la dissolution qui doit s'écouler entre les lames, laquelle dissolution ne peut sortir que par l'ouverture inférieure O O′.

V vase qui contient la dissolution de monosulfure de sodium, dans laquelle plongent les lames A A′ jointives.

OO′ ouverture inférieure de l'espace capillaire compris entre les deux lames, et où s'opère, au contact des deux dissolutions, le dégagement d'électricité auquel sont dus les effets électro capillaires.

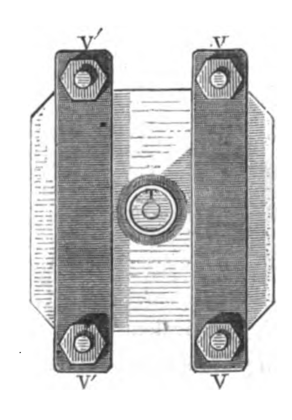
F F′ ligature faite avec un fil pour diminuer l'ouverture O O′ quand on la juge encore trop large.

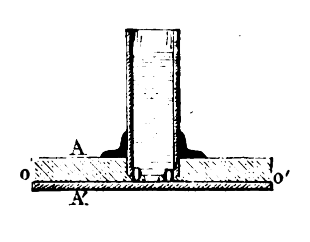
N N′ niveau de la dissolution de monosulfure de sodium.

On évite la présence des corps gras et celle d'une couche d'air sur les surfaces de verre, en contact, en les lavant d'abord avec de l'alcool, puis, les humectant avec de l'eau afin de chasser l'air.

Au lieu de mastiquer les deux lames en contact, sur les bords, il vaut mieux les presser l'une contre l'autre entre quatre petites règles en bois au moyen de quatre vis également en bois ou mieux encore en caoutchouc durci, VV, V'V', comme on le voit dans la figure suivante : au moyen de cette disposition, on diminue l'espace capillaire à volonté et d'une manière régulière.

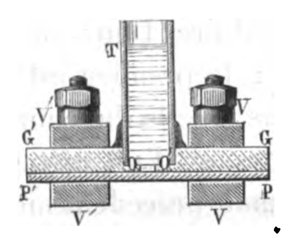
Plan de l'appareil.





A A' lames de verre superposées.
O O' ouverture inférieure.
VV, V'V' règles en caoutchouc durci.

Coupe de l'appareil.



G G′ lame épaisse de verre.
P P′ lame moins épaisse.
O O′ ouverture dans la grande lame.
T tube de verre vertical mastiqué au-dessus de l'ouverture O O′.

A défaut de règles et de vis, lorsqu'on veut appliquer le mastic sur les bords, avec la certitude qu'il n'y ait pas de fuite, du moins pendant quelque temps; on introduit les bords latéraux dans deux petites gouttières en bois remplies de mastic le plus chaud possible.

Ces dispositions ne mettent pas encore tout-à-fait à l'abri de l'inconvénient signalé précédemment, quand les lames ayant une certaine étendue de surface, sont plus ou moins gauches.

Il y a encore deux moyens de faire disparaître cet inconvénient.

Le premier consiste à interposer entre les deux lames de verre une bande de papier à filtrer qui, imbibée de la dissolution introduite, la retient par la capillarité, s'oppose à son écoulement et diminue l'espace capillaire,

condition nécessaire pour que l'action électro-capillaire ait lieu convenablement.

Le deuxième consiste à substituer à la bande de papier à filtrer une feuille d'or ou de platine, suivant la couleur du métal que l'on doit réduire. Dans ce cas, on obtient deux effets qui s'ajoutent : le premier est dû à l'action électro-capillaire, le deuxième à celle du couple composé de deux dissolutions différentes et d'un métal inoxydable dont il a déjà été question dans le précédent mémoire.

Je suis entré dans quelques détails sur les différents moyens à l'aide desquels on met en évidence les effets chimiques produits dans les actions électro-capillaires, effets qu'il importe de connaître, quand on veut les appliquer à l'étude des réactions chimiques qui ont lieu dans les corps organisés, par l'intermédiaire des tissus qui séparent des liquides de nature différente.

On opère, comme il suit, dans les divers appareils qui viennent d'être décrits : on commence par introduire le liquide sur lequel on veut opérer entre les lames de verre ; aussitôt que l'espace capillaire en est rempli, en évitant la présence d'une couche d'air et que l'on a essuyé les bords des lames, on fait l'immersion dans la dissolution de monosulfure ou autre liquide. On règle l'entrée de la dissolution métallique entre les lames, de manière à ce que la sortie par les bords ne soit pas sensible, ce dont on s'aperçoit quand il n'y a pas de précipité bien apparent sur les bords, lequel nuit aux réactions. On obtient ce résultat en ne mettant dans le petit réservoir supérieur que la quantité de liquide nécessaire pour dépasser de quelques millimètres seulement la face supérieure des lames. Il faut aussi ne mettre dans le

vase extérieur qu'une petite quantité de monosulfure, afin d'éviter une pression de haut en bas entre les lames.

L'expérience doit être dirigée de telle sorte qu'il se forme au contact des deux dissolutions un très-léger bourrelet de sulfure remplissant entre elles les fonctions de diaphragme.

§ II. — *De la mesure des espaces capillaires; procédé de M. Ed. Becquerel.*

Les effets chimiques produits par les actions électro-capillaires, dépendant non-seulement de l'électrécité dégagée dans les espaces capillaires, pendant la réaction l'une sur l'autre des deux solutions qui y ont pénétré, mais encore de la conductibilité de leurs parois recouvertes d'une couche liquide infiniment mince, conductibilité qui est analogue, à l'intensité près, à celle des corps solides, métalliques ou non, il en résulte alors des couples qui sont à courant constant, toutes les fois que l'une des solutions est oxydable et l'autre réductible.

Les effets chimiques dont il est question dépendent encore des dimensions des fissures, particulièrement de leur largeur : la longueur et l'épaisseur sont faciles à déterminer, mais il n'en est pas de même de la largeur, quand on ne peut avoir recours aux anneaux colorés et aux observations microscopiques, à cause des éraillures des fissures et de l'inégalité de leur largeur dans toute leur épaisseur.

Les actions électro-capillaires, produisant des réductions,

ne se manifestent qu'autant que la largeur des fissures ne dépasse pas certaines limites, que l'on détermine par le procédé que je vais indiquer.

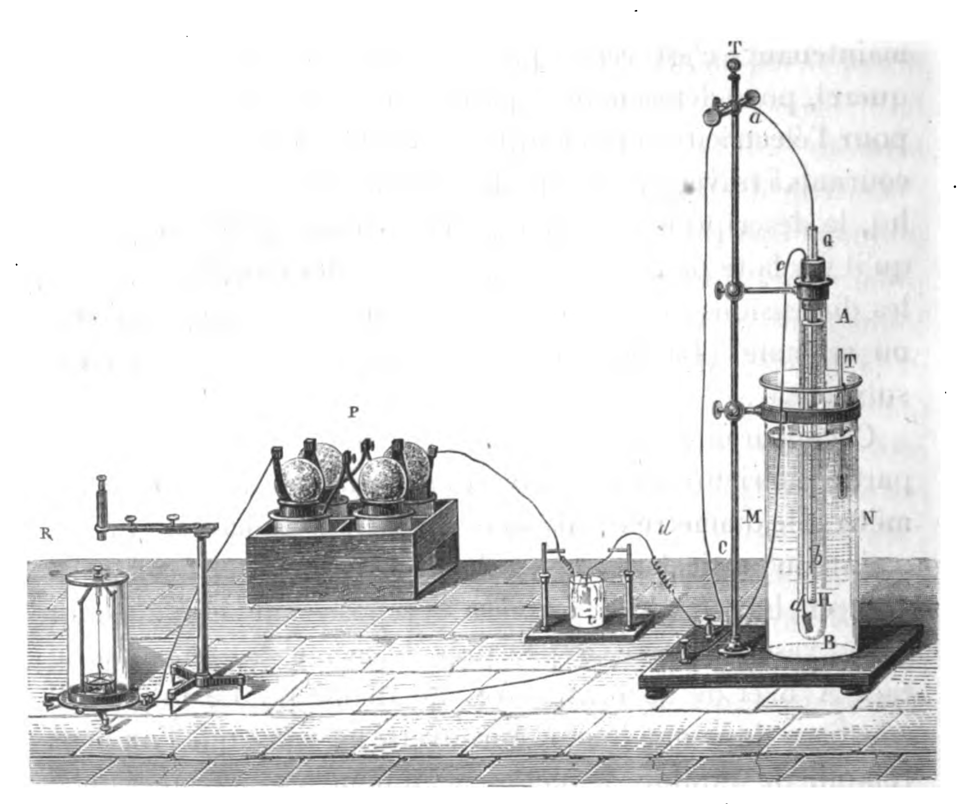
En opérant avec une solution de mono-sulfure de sodium et une solution de nitrate de cuivre, d'argent ou autre, il y a en général formation de sulfure noir, quand la fissure a une certaine largeur; en diminuant peu à peu celle-ci, on arrive à une dimension telle, que l'on commence à apercevoir du métal réduit; si l'on continue à diminuer la largeur, la quantité de sulfure formée devient moindre, tandis que celle du métal réduit augmente; on arrive enfin à un point tel, où il n'y a plus de sulfure qu'en quantité très-minime et où la réduction est rapide; on atteint alors la limite où l'action électro-capillaire est à son maximum; au delà la réduction métallique diminue et on arrive à la limite minimum, au-dessous de laquelle elle n'a plus lieu : et, cependant, on observe encore un courant électrique en plongeant, dans chaque dissolution, une lame de platine, en communication avec l'une des extrémités du fil d'un galvanomètre, courant qui ne peut avoir lieu qu'autant qu'il y a contact des deux dissolutions, suivi d'une action chimique, dont on ne peut constater les effets; il y a là une action spéciale de la part des parois ou plutôt de la couche liquide adhérente, qui joue le rôle principal, celui d'un conducteur solide.

A l'exception de l'emploi des anneaux colorés et du microscope, qui ne peuvent être employés que dans certains cas, on n'avait jusqu'ici aucun moyen de mesurer avec une grande exactitude les espaces capillaires, et cependant l'étude des phénomènes électro-capillaires exige que l'on ait un

procédé à l'aide duquel on puisse le faire. Ce procédé existe maintenant : c'est celui qui a été imaginé par M. Ed. Becquerel, pour déterminer le pouvoir conducteur des liquides pour l'électricité, et par suite la résistance qu'éprouvent les courants à traverser les liquides. Nous allons donner, d'après lui, la description de cet appareil, en indiquant l'addition qu'il y a faite pour mesurer la largeur des fissures et même les dimensions des pores des membranes d'origine animale ou végétale. (La figure de cet appareil se trouve à la page suivante.)

Cet appareil se compose d'un tube en verre AB, fermé à la partie inférieure en B et ouvert en A ; il a de 25 à 30 millimètres de diamètre et 50 à 60 centimètres de hauteur ; il est maintenu verticalement à l'aide d'une pince fixée à un support en bois T C, de manière à reposer sur le fond d'un grand vase en verre, à peu près de même hauteur que le tube A B et de 20 centimètres de diamètre. Le tube A B constitue donc une longue éprouvette en verre que l'on peut remplir de liquide, lequel est maintenu à une température déterminée, au moyen d'eau que l'on place dans le vase extérieur M N. Un thermomètre P donne la température du liquide.

Un tube capillaire G H parfaitement calibré, d'égal diamètre dans toute sa longueur, et divisé sur verre par demi-millimètres, comme une tige de thermomètre, plonge dans ce tube A B, de manière à en occuper l'axe; il est ouvert par les deux bouts et se trouve maintenu à la partie supérieure de A du gros tube par un bouchon de liége: on comprend aisément qu'à l'aide de cette disposition, le liquide placé dans l'éprouvette A B, pénètre dans le tube capillaire G H et forme



dans ce dernier une colonne d'égal diamètre dans toute sa longueur. Un fil de cuivre C plonge dans l'éprouvette A B, en passant entre le bouchon et l'extrémité inférieure du tube capillaire G H. Un autre fil rigide et aussi droit que possible, *a b*, est introduit dans le tube capillaire G H par la partie supérieure, de sorte qu'en l'enfonçant plus ou moins, on fait varier la longueur de la colonne liquide, comprise entre l'extrémité inférieure du tube *ab* et la base H du tube capillaire G H. Ce fil est attaché en *a* au support en bois, de sorte qu'en le tirant à la main, ou en l'enfonçant dans le tube, il se maintient de lui-même par son frottement contre

les parois intérieures du tube dans la position qu'on lui donne. A l'aide d'une loupe on peut lire au travers du verre la division vis-à-vis de laquelle l'extrémité du fil se trouve arrêtée.

On voit donc que, si l'on introduit dans un circuit voltaïque le système *a b c d e* formé de deux fils et du tube capillaire, le courant est forcé de passer au travers de la colonne liquide comprise entre l'extrémité inférieure du fil *a c* et la base H du tube; et si l'on fait mouvoir le fil *ab* à la main, on fait varier rapidement et facilement la longueur de cette colonne de très-petit diamètre, mais dont la section est partout la même.

Si l'on veut se servir de cette colonne liquide comme d'un corps conducteur de longueur variable, pour la comparaison des résistances, il est nécessaire, bien que les deux fils *a b c d* soient entièrement plongés dans le liquide contenu dans A B, que le courant électrique ne passe qu'entre l'extrémité du fil en question et la base du tube, et que l'on puisse considérer l'électricité comme débouchant par l'extrémité du fil dans toute l'étendue de la section de la colonne qui lui correspond. On ne peut être certain de ce résultat, mais on s'en rapproche autant que possible, en prenant le fil métallique d'un diamètre seulement peu inférieur à celui du tube capillaire, de sorte que, ce fil étant droit, son extrémité inférieure forme presque piston dans le tube; il suffit que les fils soient étirés avant de s'en servir et qu'on puisse les faire mouvoir avec facilité dans le tube. Si l'on réfléchit que les métaux conduisent plusieurs millions de fois mieux l'électricité que les liquides les meilleurs conducteurs, on voit que la différence d'action due à ce que la section de l'extrémité du

fil est un peu plus petite que celle du tube est négligeable. Du reste, comme on le verra plus loin, les erreurs de lecture que l'on peut commettre, dans l'appréciation des longueurs, sont plus grandes que celles qui résulteraient de cette disposition particulière. Dans le circuit se trouve un galvanomètre R et une pile à sulfate de cuivre P dont le nombre d'éléments varie de 1 à 40 suivant la résistance que lon a à vaincre.

Lorsque l'on veut se servir de cet appareil, on rompt le fil *cde* au point *r* et l'on place dans l'intervalle *rr'* la résistance liquide que l'on veut évaluer en fonction de celle d'une portion de la colonne liquide capillaire. Veut-on connaître la résistance qu'oppose au passage de l'électricité la fêlure d'un vase placé entre deux liquides, on opère comme il suit : on prend un vase MN rempli de la liqueur d'essai (sulfate de cuivre étendu); on plonge ensuite deux lames de cuivre bien décapé, dans cette même dissolution dont est rempli le vase L; on relève le degré où s'arrête l'aiguille aimantée du galvanomètre, puis on note également la hauteur de la colonne liquide du tube capillaire. Cela fait, on place le vase fêlé contenant de la dissolution d'essai dans le vase L et l'on y introduit l'une des lames de cuivre; de cette manière le courant passe dans toutes les parties de l'appareil, et en outre par la fissure; l'aiguille aimantée rétrograde vers zéro. Alors, pour ramener l'aiguille où elle se trouvait avant l'introduction de la fissure, on abaisse le fil qui se trouve dans le tube capillaire, et la hauteur évaluée en demi-millimètres, dont on aura abaissé le fil, servira à mesurer la résistance apportée par la fissure au passage de l'électricité.

En résumé, la méthode consiste à évaluer le pouvoir conducteur d'un liquide renfermé dans l'espace capillaire cherché, par rapport au pouvoir conducteur du même liquide situé dans un tube capillaire d'une étendue déterminée, et à déduire la dimension de l'espace dont il est question d'après la loi connue, qui règle les pouvoirs conducteurs des corps pour l'électricité. Cette méthode suppose, bien enteudu, une régularité assez grande dans les intervalles que l'on mesure. Elle est extrêmement sensible et permet d'évaluer des intervalles de quelques millièmes de millimètre et même bien au-dessous.

Avec ces données et quand on connaît la longueur de la fente et l'épaisseur du vase rien n'est plus facile que de déterminer la largeur de la fente.

Il y a cependant, dans ce procédé, deux causes d'erreur dont l'une, cependant, peut être évitée jusqu'à un certain point; il n'en est pas de même de la seconde.

Les fentes sont très-irrégulières dans leur allure et leur épaisseur; d'un autre côté, le verre n'a pas non plus la même épaisseur, mais l'on peut, par un essai préalable, connaître quelles sont les parties de la fissure qui opère la réduction; on recouvre de cire ensuite celles qui ne produisent pas cet effet. Quant à l'épaisseur inégale de la fissure, l'expérience donne la largeur moyenne ; c'est là tout ce que l'on a besoin de connaître.

Il est impossible de parer à la seconde cause d'erreur, celle qui est relative à la conductibilité des parois de la fissure recouverte de liquide et qui n'est pas la même que celle du liquide même; c'est précisément à cause de cette différence que les effets chimiques produits en vertu des actions élec-

tro-capillaires ont lieu; or, comme cette conductibilité est plus grande que celle des liquides, à volume égal, il s'ensuit que la largeur donnée par l'expérience est plus forte que celle que l'on aurait eue, si cette différence n'eût pas existé; on a donc un maximum de largeur, dans ce degré de petitesse, car le maximum absolu est celui qui est donné quand les deux dissolutions se mêlent ensemble par le jeu seul des affinités chimiques.

Quant au minimum de la largeur, il est donné par le courant électrique résultant de la réaction des deux dissolutions passant au travers de la fissure, sans produire d'effets chimiques dus à des actions capillo-électriques. Au surplus, il est possible de trouver le pouvoir conducteur des parois humides des espaces capillaires: c'est ce dont nous allons nous occuper prochainement. Néanmoins, comme je l'ai déjà dit, on peut arriver à une mesure assez exacte de la largeur d'une fissure, en diminuant successivement sa longueur avec du mastic appliqué sur les parties qui paraissent les plus irrégulières et ne conservant ainsi que celles qui paraissent homogènes. On restreint ainsi la longueur de la fissure à moins de 1 centimètre. Nous en fournirons plus loin des exemples.

On n'a pas à craindre de perturbations résultant des actions chimiques qui ont lieu à l'extrémité des fils qui plongent dans les liquides, attendu, d'une part, que les courants sont si faibles que ces actions ne sont pas appréciables; de l'autre, que si elles avaient lieu, le métal qui entre dans la dissolution étant de même nature que celui des fils conducteurs, il y a dépôt de métal sur le bout négatif et reproduction de la même quantité de sel décomposé à l'autre; il en

résulte que la dissolution conserve son même degré de concentration et les deux bouts de fil leur éclat métallique.

Passons aux déterminations :

On a commencé par chercher le rayon et la section du tube capillaire qui sert à évaluer les résistances et qui est divisé en demi-millimètres. On a trouvé le rayon en introduisant du mercure dans le tube, relevant le nombre de divisions qu'il occupait, et prenant le poids du mercure, puis se servant de la formule ordinaire,

$$\pi r^2 h d = p,$$

π étant le rapport de la circonférence au diamètre;
r le rayon du tube;
h la hauteur de la colonne;
d la densité de mercure;
p le poids du mercure introduit.

On a obtenu avec cette formule :

$$r = 0^{mm}38084$$
$$\pi r^2 \text{ ou la section } 0^{mm}4556.$$

Premier bocal. — Détermination des largeurs des fissures de plusieurs bocaux de verre ayant en moyenne 2 millimètres d'épaisseur.

l longueur de la fissure $= 40^{mm}$
e épaisseur $= 2^{mm}$
x largeur cherchée.

La résistance étant en raison directe de la longueur et en

raison inverse de la section, et le volume de la fissure pouvant être considéré comme celui d'un parallélipipède rectangulaire, on a :

$$R = \frac{2}{40x}$$

D'un autre côté, cette résistance est égale à celle qui est indiquée par le tube capillaire :

$$l = 18^{mm}$$

Section du tube 0,4556.

$$R = \frac{18}{0,4556}.$$

On a donc :

$$\frac{2}{40x} = \frac{18}{0,4556}.$$

D'où l'on tire

$$x = 0,001266$$

Telle est la valeur de la largeur de la fissure du vase.

Deuxième bocal. — La résistance mésurée par la hauteur de la colonne de liquide dans le tube capillaire est égale à 99 millimètres.

l longueur de la fente $= 30^{mm}$
e épaisseur du bocal $= 2^{mm}$

On a :

$$\frac{99}{0,4556} = \frac{2}{30x}$$

d'où

$$x = 0,000306.$$

Troisième bocal. — Hauteur de la colonne liquide, 2 à 8 millimètres.

Épaisseur du vase, 2 millimètres.

Longueur de la fissure, 20 millimètres.

On a donc :

$$\frac{208}{0,4556x} = \frac{2}{20x}$$

d'où l'on tire

$$x = 0,00021$$

Ainsi, dans ces trois bocaux, la largeur des fissures a varié de 0,00126 à 0,00021, c'est-à-dire de 126 : 21, ou de 6 : 1.

Voici les déterminations d'ouvertures capillaires entre deux lames de verre superposées et tenues jointives avec des fils ; ces déterminations sont relatives aux lames de l'appareil, (fig., page 498), dont les ouvertures sont partout les mêmes.

Premier appareil. — Hauteur, 45 millimètres.

Longueur de la fissure, 70 millimètres.

x largeur de l'ouverture.

On a

$$R = \frac{70}{45.x} \qquad R' = \frac{10}{0,4556},$$

d'où l'on tire

$$\frac{70}{45x} = \frac{18}{0,4556} \quad \text{et } x = 0^{mm}029.$$

Deuxième appareil. — Avec une ouverture de près de 3 centièmes de millimètre, on obtient la réduction de la plupart des métaux.

$$R = \frac{95}{33x} \qquad R' = \frac{26}{0,4556}$$

d'où

$$\frac{95}{33x} = \frac{26}{0,4556}$$

puis

$$x = 0,050.$$

En général, avec des ouvertures de quelques centièmes de millimètre, on obtient de bons résultats.

Les déterminations faites par ce procédé ont montré que lorsque l'intervalle des lames est seulement de quelques centièmes de millimètre, la réduction de la plupart des métaux a lieu, tandis que lorsqu'il n'est que de quelques millièmes de millimètre, l'argent et l'or sont réduits facilement, tandis que les autres le sont lentement et avec difficulté.

Les dépôts métalliques qui se forment entre les lames de verre jointives dont l'intervalle est seulement de quelques centièmes de millimètre, entre lesquelles se trouve une bande de papier à filtrer et tenues jointives avec des liens, exercent souvent une telle force d'expansion que, lors même que les liens ne sont pas rompus, une des lames quand elle n'est pas épaisse est quelquefois brisée.

On conçoit, d'après cela, comment des roches donnant passage à des dissolutions diverses par infiltration et dans lesquelles s'opèrent des effets électro-capillaires semblables à celles que nous décrivons, peuvent éclater, ou bien se fendre.

Je suis entré dans de grands détails, touchant les appareils à l'aide desquels il est plus ou moins facile de mettre en évidence les effets de réduction et d'oxydation dus aux actions électro-capillaires, ainsi que sur la méthode au moyen de laquelle on détermine l'étendue des espaces capillaires où ces actions se manifestent, attendu que dans la nature orga-

nique, comme je l'ai démontré, dans mon précédent mémoire, toutes les fois qu'un tissu sépare deux liquides, dont l'un est oxydable, et l'autre réductif, il en résulte toujours un couple à courant constant qui fonctionne comme tel, tant que la nature de ces liquides ne change pas. J'ai dû, en conséquence, étudier toutes les circonstances, qui favorisent ou nuisent à la production des actions électro-capillaires; circonstances qui devront être prises en considération par les expérimentateurs, qui voudront étudier l'influence des actions électro-capillaires sur les phénomènes de la vie.

CHAPITRE II.

DES EFFETS CHIMIQUES OBTENUS AVEC LES APPAREILS ÉLECTRO-CAPILLAIRES DÉCRITS PRÉCÉDEMMENT.

§ I. — *Réduction métallique, quand la dissolution de monosulfure et la dissolution métallique sont séparées par un troisième liquide.*

Dans les expériences précédentes, les deux dissolutions étaient mises en contact dans les espaces capillaires et réagissaient chimiquement l'une sur l'autre; il y a alors production d'électricité et recomposition des deux électricités par l'intermédiaire des parois des espaces capillaires qui agissent comme des conducteurs solides, d'où résulte un courant agissant comme force chimique. Voyons ce qui arrive quand ces dissolutions sont séparées par un autre liquide.

On introduit dans un vase contenant de l'eau acidulée au $\frac{1}{10}$, deux vases fêlés, renfermant, l'un, une dissolution de monosulfure, l'autre une dissolution saturée de sulfate ou de nitrate de cuivre. Dans chacune de ces dissolutions, se trouve une lame de platine communiquant ensemble au moyen d'un fil de même métal, et dans le circuit du-

quel est placé un galvanomètre. On observe aussitôt un courant qui est la résultante des effets électriques produits dans la réaction de l'eau acidulée sur chacune des deux dissolutions : la direction de ce courant indique que la lame plongeant dans la dissolution métallique est le pôle négatif, l'autre le pôle positif; la première se recouvre de cuivre métallique, et il ne se dépose aucune trace de ce métal dans la fissure du vase où se trouve la dissolution métallique. Dans ce cas, les fissures, du moins les liquides qui s'y trouvent se comportent uniquement comme corps conducteurs; fait que j'avais déjà mis en évidence, et qui démontre que le fil métallique est meilleur conducteur que la fissure remplie de liquide, agissant alors comme conducteur solide; en substituant à l'eau acidulée une dissolution conductrice de potasse caustique de sel marin, etc., les effets sont les mêmes, à l'intensité près, à cause de la conductibilité du liquide intermédiaire. On voit donc qu'un liquide intermédiaire entre la dissolution métallique n'empêche pas les effets électro-chimiques de se produire.

Ces effets sont faciles à vérifier avec les appareils à tubes tamponnés, dont les résultats sont plus certains qu'avec les vases fêlés, qui ne sont pas toujours dans des conditions convenables; leur étude est utile surtout en vue des recherches relatives aux effets électro-capillaires qui ont lieu dans l'intérieur des corps organisés.

Lorsque deux liquides différents, par exemple, circulent dans deux vaisseaux ou tissus voisins, séparés par un autre liquide, les deux premiers en relation avec un corps conducteur quelconque remplissant les fonctions d'une fissure, il doit se produire des effets semblables à ceux dont il est ques-

tion et qui sont continus, quand l'un des deux liquides est oxydable et l'autre réductible.

Avec les appareils à tubes tamponnés on décompose l'eau acidulée, mais les deux gaz ne peuvent être recueillis dans le même vase : le couple à gaz oxygène, tel que je l'ai établi anciennement et dans lequel on opère avec une dissolution de potasse caustique et de l'acide nitrique concentré, séparés par un diaphragme mince de coton cardé et traversés par un fil de platine, dont les deux bouts plongent, chacun, dans un des deux liquides, le bout dans l'acide, qui est le pôle négatif, donne du gaz nitreux provenant de la décomposition de l'acide nitrique qui reste en dissolution, l'autre du gaz oxygène, que l'on peut recueillir facilement.

Veut-on avoir de l'hydrogène ; il faut opérer avec l'appareil à deux tubes tamponnés, traversés par un fil de platine, dont les deux bouts plongent, chacun, dans un des liquides ; dans l'un des tubes, on met de la dissolution de monosulfure de sodium, dans l'autre de l'eau acidulée par l'acide sulfurique ; on prend pour liquide intermédiaire de l'acide nitrique, étendu de moitié de son volume d'eau ; il se dégage abondamment du gaz hydrogène sur le bout de fil de platine qui se trouve dans l'eau acidulée, gaz que l'on peut recueillir, mais, particulièrement, dans le vase intermédiaire où se trouve l'acide nitrique contenant moitié de son volume d'eau. Quand l'acide nitrique est concentré, l'hydrogène désoxyde l'acide nitrique.

On conçoit tout le parti que l'on peut tirer de l'appareil à tubes tamponnés pour l'étude des phénomènes chimiques dus aux actions électro-capillaires; car on a un moyen très-simple de désoxyder, ou du moins de faire passer à un état

d'oxydation moindre une dissolution qui est réductible, et cela avec des appareils simples.

L'expérience suivante indique la marche à suivre pour dépolariser les électrodes, quand on emploie deux lames de platine et un tube fêlé, contenant de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, et placé dans un vase rempli d'une solution de potasse. Il y a production de courant due à la réaction des deux liquides dans la fissure ; l'eau est décomposée, mais il y a aussitôt polarisation, que l'on détruit en dissolvant une petite quantité de protoxyde de plomb dans la potasse et ajoutant quelques gouttes d'une dissolution de sulfate de cuivre, dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique ; l'eau est décomposée, l'oxygène fait passer le protoxyde de plomb à l'état de peroxyde qui se dépose sur la lame positive, tandis que l'hydrogène réduit le cuivre sur la lame qui est dans le tube fêlé.

On doit attacher une certaine importance aux effets obtenus avec l'appareil à tubes tamponnés, composé soit d'un tube, soit de deux tubes fermés par le bas, avec des tampons de papier bien serrés, attendu que les effets résultent, d'une part, de l'électricité dégagée dans des espaces capillaires, de l'autre, du courant électrique dû à la recomposition des deux électricités le long du fil de platine et autre corps conducteur solide qui traverse le diaphragme, et dont les bouts débouchent dans les deux dissolutions. Ce conducteur remplace évidemment les parois des espaces capillaires des vases ou tubes fêlés, dont on a démontré la conductibilité électrique, quand ces parois sont mouillées.

Au lieu de tamponner ces tubes avec du papier à filtrer, on peut le faire avec un bouchon de liége, préalablement

imbibé d'eau; l'action électro-chimique est à la vérité plus lente, mais aussi elle est plus régulière.

En opérant avec le tube fêlé, contenant une dissolution de nitrate de cuivre saturée et une dissolution de potasse caustique dans le vase, on obtient dans l'intérieur du tube sur sa paroi un dépôt noir, qui est sans doute de l'oxyde anhydre de cuivre.

Avec l'appareil des deux tubes tamponnés, et prenant l'ammoniaque pour liquide intermédiaire on a la réduction immédiate du cuivre.

§ II. — *De la séparation des métaux dans les appareils électro-capillaires.*

Dans mon second mémoire sur les phénomènes chimiques produits dans les appareils électro-capillaires, j'ai annoncé qu'en soumettant à l'expérience une dissolution dans laquelle le nitrate de cuivre et le nitrate d'argent ou le chlorure de cuivre et le chlorure d'or se trouvent en diverses proportions, le cuivre et l'argent ou le cuivre et l'or sont réduits séparément. Ce phénomène mérite d'être étudié avec assez de soin pour en faire ressortir toutes les conséquences.

Je commencerai par rappeler les résultats des expériences que j'ai faites pour séparer d'une dissolution les métaux qui s'y trouvent, à l'aide de l'action chimique de l'électricité.

J'ai soumis à l'action d'un courant provenant d'une pile à sulfate de cuivre composée de dix éléments, une dissolu-

tion dans l'eau distillée de une partie atomique de nitrate d'argent et successivement de deux, quatre, huit, seize, trente-deux, soixante-quatre parties de nitrate de cuivre; j'ai trouvé que le nitrate d'argent commence à être décomposé d'abord seul, et que le cuivre ne commence à paraître que lorsqu'il se trouve dans la dissolution un peu plus de soixante-quatre parties de nitrate de cuivre pour une partie atomique de nitrate d'argent. En augmentant la proportion de nitrate de cuivre, on finit par arriver à un dépôt contenant à peu près des équivalents d'argent et de cuivre; dans ce cas, le courant, suivant la loi de Faraday, a dû se partager en deux parties parfaitement égales, attendu que les équivalents des corps étant associés à des quantités égales d'électricité, ne peuvent être séparés que par des courants égaux en intensité.

Dans les actions électro-capillaires où les métaux sont obtenus à l'état métallique, il doit se produire des effets semblables, avec des modifications provenant, probablement, de la différence entre l'action exercée par le courant, eu égard aux quantités relatives des deux sels métalliques, qui se trouvent dans la dissolution.

Voici les faits mis en évidence par l'expérience.

On a pris 20 centimètres cubes d'une dissolution saturée de nitrate de cuivre, dans laquelle on a versé deux gouttes d'une dissolution également saturée de nitrate d'argent, pouvant représenter $0^{gr}01$, que l'on a introduit dans un vase fêlé. Ce vase a été mis dans une dissolution de monosulfure de sodium, marquant 10° à l'aréomètre; la réduction de l'argent n'a pas tardé à se montrer sur la paroi intérieure du vase fêlé, voisine de la fissure. On a pu retirer ainsi la

plus grande partie de l'argent contenu dans la dissolution, qui ne contenait plus ensuite aucune trace bien sensible de ce métal suivant la méthode d'essai en usage. On a retiré la dissolution pour la mettre de nouveau en expérience; on a d'abord eu de l'argent en quantités excessivement minimes, puis du cuivre. Il a été bien difficile de déterminer le point où l'argent a été retiré en totalité. Mais, désirant préciser plus exactement les proportions de nitrate d'argent, j'ai fait l'expérience suivante :

On a pris 10 grammes de nitrate de cuivre que l'on a dissous dans une quantité d'eau suffisante pour que la solution soit saturée; on y a ajouté 1 centigramme de nitrate d'argent; les deux sels s'y trouvaient donc dans la proportion de 1000 : 1. La dissolution ne contenait donc que 1 millième d'argent, et comme 1 centigramme de nitrate de ce métal ne renferme que $0^{\text{millig.}}68$, il a été difficile de recueillir cette quantité minime qui est adhérente en partie à la paroi et en partie dans la fissure.

La dissolution d'or et de cuivre se comporte comme celle d'argent et de cuivre.

Il resterait à trouver le point où il n'y a plus d'argent ou d'or dans la dissolution; mais il faudrait faire pour cela, à différents intervalles de temps, des pesées qui sont très-difficiles, en raison de l'extrême division du métal et de son adhérence aux parois du verre quand il ne se trouve plus dans la dissolution qu'en quantités extrêmement minimes; j'essayerai néanmoins de faire ces déterminations.

Je donnerai quelques indications sur la largeur moyenne des espaces capillaires avec laquelle on obtient la réduction de l'or.

La réduction du cuivre a lieu dans un vase fêlé dont la fissure a $0^{mm}006$; celles de l'or et de l'argent dans des vases fêlés dont la largeur des fissures est beaucoup moindre.

Dans un autre mémoire j'exposerai les effets chimiques, autres que les réductions métalliques, produits en vertu des actions électro-capillaires, ainsi que les résultats des expériences faites avec l'appareil de M. Ed. Becquerel pour déterminer l'étendue des espaces capillaires, dans les membranes.

§ III. — *Séparation des métaux et autres effets produits dans les appareils à lames de verre jointives.*

On a vu que, lorsqu'on interposait entre deux lames de verre placées verticalement, une bande de papier à filtrer, servant à l'écoulement lent de la dissolution supérieure, ce système plongeant dans l'autre dissolution, on facilitait les actions capillaires; en poursuivant mes recherches avec ce genre d'appareil, j'ai été amené à faire diverses expériences, dont les résultats ont d'autant plus d'intérêt qu'ils étaient inattendus.

Si l'on imbibe la bande de papier d'une solution de persulfate de fer très-concentrée, ne contenant que quelques millièmes de cuivre, et plongeant l'appareil des deux lames dans une solution de monosulfure alcalin exempte de fer, il se forme peu à peu sur le papier du sulfure noir de fer, puis l'on voit apparaître sur le sulfure du cuivre métallique

en couches excessivement minces et même quelquefois des petits cristaux de ce métal.

On pouvait croire que le cuivre provenait des formes en fils de laiton, sur lesquelles la pâte avait été coulée; mais il n'en a pas été ainsi, puisque l'effet a été le même, en substituant l'asbeste au papier. On a vu précédemment que l'on était déjà parvenu à séparer complétement le cuivre de l'argent et de l'or.

On voit par là que si la chimie donne les moyens de séparer les métaux les uns des autres d'une dissolution, soit à l'état d'oxyde, de sulfure, etc., et d'y reconnaître quelquefois leur présence à l'aide de certaines réactions, la chimie capillaire, si l'on peut désigner ainsi l'ensemble des phénomènes chimiques produits dans les espaces capillaires, permet de séparer les métaux les uns des autres à l'état métallique. On ne peut les conserver, du moins ceux qui sont altérables qu'autant que les lames de verre entre lesquelles ont eu lieu la réduction, sans avoir été séparées, ont été lavées à grande eau, puis conservées sous l'eau privée, autant que possible, du contact de l'air.

L'appareil des lames jointives, avec les bandes de papier intermédiaires, est employé utilement à la production d'un certain nombre de composés insolubles cristallisés : le carbonate de chaux en petits cristaux rhomboïdaux est obtenu en humectant les bandes de papier d'une solution concentrée de bi-carbonate de soude, entretenant l'écoulement lent de la solution et plongeant l'appareil dans une solution de chlorure de calcium; on ne tarde pas à apercevoir sur le papier et sur les bords des petits cristaux de double carbonate de soude et de chaux résultant de la réaction des deux sels l'un sur l'autre.

Le chromate de plomb rouge cristallisé s'obtient facilement en opérant comme il suit : l'appareil à plaques de verre entre lesquelles se trouvent des bandes de papier, est placé verticalement ; la plaque la plus épaisse, ayant environ 1 centimètre d'épaisseur, est évidée, dans la partie supérieure, à demi-épaisseur, sur une longueur de 3 centimètres et sur une largeur de 5 millimètres, de manière à former une espèce de gouttière destinée à recevoir la dissolution qui doit s'écouler entre les lames; on applique sur la face où la rigole est formée une bande de papier à filtrer, puis on pose dessus la seconde plaque que l'on presse fortement sur l'autre avec des fils ou les règles vissées. La bande de papier est humectée de la dissolution de nitrate de plomb dont on remplit également la rigole, au fur et à mesure qu'elle se vide. Ces dispositions achevées, on plonge le système des plaques dans une dissolution saturée de bichromate de potasse, la réaction commençant aussitôt entre les solutions qui se rencontrent dans les espaces capillaires où, à la sortie de l'un d'eux, il y a naturellement formation de chromate jaune sur le pourtour ; mais, à l'extérieur de la gouttière, sur la portion de la bande de papier qui la recouvre, il se dépose peu à peu du chromate rouge de plomb, qui cristallise peu à peu en aiguilles visibles à la vue. Le sous-chromate de fer, le chromate d'argent, le sulfate de plomb et celui de baryte sont formés de la même manière, les deux derniers toutefois beaucoup plus lentement que les premiers.

Le sulfate de plomb se présente en lames qui paraissent appartenir à des octaèdres cunéiformes. Les cristaux dépolarisent les rayons lumineux. Le sulfate de plomb est également en cristaux lamellaires; peut-être doit-on attribuer à

l'interruption qu'éprouve la formation de ces composés, la cristallisation atrophiée que l'on observe quelquefois.

Dans les doubles décompositions, où il se produit des composés insolubles cristallisés, sans l'intervention apparente de l'électricité et par conséquent des effets électro-capillaires, on se demande si cette production ne pourrait pas provenir de la lenteur avec laquelle a lieu la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre, et d'où résulte un groupement régulier des molécules, ou bien de ce que les solutions éprouvent dans les espaces capillaires une modification telle, que les molécules, en agissant les unes sur les autres, sont aptes à prendre l'état cristallin quand elles forment un précipité : on est porté à le croire, d'après la marche des arborisations qui s'étendent à une certaine distance des espaces capillaires, disposition qui ne peut avoir lieu qu'en vertu d'une action moléculaire résultant peut-être d'une modification acquise dans ces espaces, due à une cause qui n'est pas encore connue.

Lorsqu'il n'y a pas de réduction métallique, ni de précipité, il y a un troisième cas à examiner, c'est celui dont l'examen est le plus difficile; ce cas est relatif à la formation des composés insolubles résultant des actions électro-capillaires.

Je dois présenter, ici, une observation qui n'est pas sans intérêt pour la question; d'après les nombreuses expériences que j'ai faites, sur les réductions métalliques, dans les espaces capillaires, sur les parois des vases et dans le voisinage de ces espaces, j'ai remarqué fréquemment, que, lorsque le contact des dissolutions n'est pas suivi d'une précipitation, il n'y a pas de réduction métallique, comme on en a une

preuve, en opérant avec la dissolution de platine et celle de chlorure de chrome et le monosulfure alcalin ; dans ce cas, il se forme des doubles combinaisons.

§ IV. — *Des effets électro-capillaires produits, dans les espaces capillaires, sur les lames de métal recouvertes de composés métalliques.*

Jusqu'ici, il n'a été question que de réductions métalliques obtenues à l'aide de couples électro-capillaires, formés de deux dissolutions et de parois humides; voyons ce qui arrive en substituant à la bande de papier, dans l'appareil à deux lames de verre, une plaque de métal que l'on recouvre d'un composé métallique, tel qu'un sulfure, un oxyde humecté d'eau distillée, puis mastiquant les bords, pour empêcher l'introduction de l'air.

Prenons d'abord une lame de cuivre, puis pour composé métallique du sulfure de fer, nouvellement précipité d'un proto-sulfate de ce métal et encore humide; peu à peu le sulfure de fer est décomposé, le fer se dépose çà et là à l'état métallique sur la lame de cuivre, tandis que le cuivre se sulfure : l'action cesse aussitôt que l'eau qui humectait le sulfure de fer a disparu, soit parce que celle-ci a été décomposée, soit parce qu'elle s'est évaporée par les fissures du mastic. Comment expliquer cette réduction? Il faut admettre que le soufre, ayant plus d'affinité pour le cuivre que pour le fer, comme on le prouve en plongeant dans une dissolution de monosulfure de sodium une lame de cuivre et une lame

de fer, en communication, chacune, avec l'un des bouts du fil d'un galvanomètre, l'aiguille aimantée est déviée de sa position d'équilibre, et le sens de la déviation indique que le cuivre a été plus attaqué par le monosulfure que le fer. Il résulte de la différence dans les affinités de ces deux métaux pour le soufre que le fer est réduit et le cuivre se sulfure. On se demande maintenant comment intervient l'eau, doit-elle agir autrement que comme véhicule; d'un autre côté, ne perdons pas de vue que les parois des lames de verre, étant humides, sont conductrices de l'électricité, ce qui est une des conditions principales pour établir un courant électrique, comme cela a lieu dans les espaces capillaires. Or le contact du sulfure de fer et de l'eau, dans les espaces capillaires, comme dans ce cas-ci, doit donner lieu aux effets suivants. Les deux éléments du proto-sulfure de fer en présence de l'eau s'oxydent, il se forme du proto-sulfate de fer; le proto-sulfure est donc le pôle positif et le cuivre le pôle négatif; le cuivre agit donc pour décomposer le sulfate, aidé par l'hydrogène libre qui désoxyde les éléments du sulfate; il y a donc successivement oxydation et désoxydation. Le soufre se combine naturellement avec le cuivre; l'action doit cesser non-seulement par l'absence de l'eau, mais encore quand la surface du cuivre est recouverte, dans certaines parties, de fer métallique et dans d'autres de sulfure de cuivre. D'un autre côté, si le cuivre n'était pas recouvert de sulfure de ce métal, il est bien évident qu'il en résulterait un couple voltaïque cuivre et fer, lequel, en présence des petites quantités d'air et d'eau, qui se trouveraient entre les lames, produirait la prompte oxydation du fer.

En remplaçant la lame de cuivre par une lame de fer et le

sulfure de fer par le carbonate vert de cuivre nouvellement précipité et bien lavé, on obtient du sesquioxyde de fer et peut-être même du carbonate de ce métal et du sous-sulfate de cuivre; avec une lame de zinc et du carbonate de cuivre on obtient des produits analogues.

Une lame de plomb et le carbonate de cuivre ont donné de petits cristaux blancs de carbonate de plomb sans aucune apparence de plomb métallique sur certains appareils et précipitation de cuivre sur d'autres.

Avec une lame de fer et du minium, le plomb est réduit sur la lame de fer, en même temps qu'il se forme un grand nombre de petits tubercules brun foncé : la lame de fer est recouverte également de petits tubercules de plomb très-brillants.

§ V. — *De l'intervention des actions électro-capillaires dans la production de quelques composés insolubles.*

Il est possible de rapporter aux actions électro-capillaires la formation, en vertu d'actions lentes, de divers composés, tels que les silicates terreux, dont j'ai déjà eu l'honneur d'entretenir l'Académie, dans la séance du 2 juillet 1867. (*Compte rendu* de cette séance.)

Antérieurement à cette époque, je m'occupais déjà des effets de ces actions, sans en connaître la cause; cette cause est l'électricité dégagée au contact de deux liquides et la conductibilité électrique des parois des corps qu'ils mouillent dans les espaces capillaires.



Lorsqu'on place du chromate jaune de plomb sur une lame de platine plongeant dans l'eau distillée, et en rapport avec le pôle négatif d'une pile composée seulement de quelques éléments à sulfate de cuivre, et fermant le circuit avec une autre lame de platine, l'eau est décomposée ainsi que le chromate, l'acide chromique devient libre et se dissout dans l'eau, et il se forme sur la lame négative du chromate bibasique.

On obtient de semblables effets en faisant intervenir comme il suit les actions électro-capillaires : on recouvre une lame de zinc de chromate jaune de plomb humecté d'eau distillée, et l'on place cette lame entre deux autres de verre fortement serrées; on mastique avec soin les bords afin d'empêcher l'introduction de l'air, on obtient par ce moyen, comme ci-dessus, du chromate bibasique rouge. On explique de la manière suivante la formation de ce composé.

Le zinc en s'oxydant lentement, et la surface de chacune de ces lames de verre constituant un couple électro-capillaire, l'eau est par conséquent décomposée, l'oxygène oxyde le zinc, tandis que l'hydrogène se porte sur la surface des lames de verre humides où il réagit sur le chromate jaune, ce sel est soumis à la décomposition électro-chimique, et il se forme du chromate bibasique en même temps que du chromate de zinc; en opérant avec une lame de plomb, il se forme également du chromate bibasique.

Le peroxyde de manganèse répandu sur une lame de zinc et toujours dans les mêmes conditions est ramené à un état d'oxydation moindre tandis qu'il se forme une grande quantité de zinc hydraté en petits tubercules ou à l'état soyeux.

Dans tous ces appareils, il y a toujours couple électro-capillaire par suite de l'oxydation du zinc.

Lorsque l'on opère avec une lame de fer au lieu d'une lame de zinc, on trouve bien çà et là du chromate de plomb bibasique, mais encore des cristaux brillants dont la forme est difficile à déterminer, de sesquioxyde de fer, mêlés de chromate de fer et d'oxyde de plomb; on peut en juger ainsi d'après l'analyse qui a été faite des produits déposés.

On conçoit très-bien que, dans toutes ces expériences, l'action s'arrête quand il n'y a plus d'eau entre les lames de verre. Le chromate jaune avait été lavé préalablement avec de l'eau distillée afin d'enlever tous les sels solubles qui pouvaient s'y trouver.

§ VI. *Des effets électro-capillaires produits sur la surface de lames de gypse.*

Lorsqu'on fait arriver très-lentement une dissolution de silicate de potasse de 6 à 10° aréométriques, sur une lame de gypse placée entre deux lames de verre, et tenue inclinée afin de donner un écoulement très-lent à la dissolution, on voit se former sur la surface du gypse des cristaux en aiguilles rayonnant de différents points et terminés en biseaux. Ces cristaux s'allongent de jour en jour, se superposent les uns au-dessus des autres et finissent quelquefois par présenter une surface ayant un aspect nacré.

Ces cristaux, après avoir été lavés un grand nombre de fois, sont fusibles au chalumeau en émail; ils sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans l'acide chlorhydrique concen-

tré ou étendu, en laissant un dépôt de silice. La dissolution ne contient que du chlorure de calcium et du chlorure de potassium. Ces cristaux appartiennent donc à un double silicate de potasse et de chaux : tous ces caractères rapprochent ce silicate de l'apophyllite dont il ne diffère que par sa solubilité dans l'acide chlorhydrique.

Dans cette expérience, il n'y a ni réduction métallique, ni oxydation d'un métal avec le concours des actions électro-capillaires, et cependant ces actions paraissent devoir être prises en considération. Passons à l'explication.

Quelles sont les substances en présence entre les lames de verre? Le gypse, corps non-conducteur de l'électricité, mais très-légèrement soluble; une fois humide, il le devient ainsi que la surface du verre; d'un autre côté la dissolution de silicate de potasse est conductrice.

Or il n'y a de courant électrique qu'autant qu'il y a dégagement d'électricité et par conséquent action chimique produite dans l'appareil dont il est question. L'action chimique résulte de la réaction de la dissolution de silicate de potasse sur le sulfate de chaux, qui est légèrement soluble, la surface du gypse doit donc prendre l'électricité positive, et le verre humecté de la même dissolution, l'électricité négative; il en résulte une courant électrique, en vertu duquel la surface du verre est le pôle positif, et celle du gypse le pôle négatif. L'action de ce courant tend à enlever l'acide sulfurique au sulfate, lequel acide devient libre ainsi que la chaux, mais momentanément, l'acide se combine avec la potasse, qui abandonne la silice. Il en résulte du sulfate de potasse et de la silice qui devient libre; la silice qui est à l'état naissant se combine avec la chaux, d'où résulte du silicate

de chaux lequel, étant à l'état naissant, se combine avec le silicate de potasse. Ce produit exige un certain temps pour sa formation.

§ VII. — *Phénomènes qui ont des rapports avec les phénomènes électro-capillaires.*

Davy avait observé, en 1806 (*Annales de chimie*, t. LXIII, p. 172), qu'un courant électrique provenant d'une pile composée d'un grand nombre d'éléments et qui traverse, à l'aide de deux lames d'or, de l'eau distillée contenue dans deux vases formés d'une substance insoluble et communiquant ensemble au moyen d'une mèche de coton, que ce courant, dis-je, jouit de la propriété d'enlever à cette substance les acides et les alcalis qui s'y trouvent à l'état de combinaison ou de mélange.

J'ai montré depuis [*Annales de physique et de chimie*, t. LIII, p. 108 (1833); — *Traité de l'Électricité et du Magnétisme*, t. IV, p. 197 et suivantes (Becquerel); — *Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux*, t. I, p. 90 et suivantes (Dutrochet)] qu'un liquide adhérent à une surface quelconque par l'affinité capillaire et formant une couche excessivement mince n'est pas dans le même état moléculaire que le liquide adjacent, et que cette couche se polarise à la manière des corps solides conducteurs, par le passage de l'électricité. J'ajoutai qu'il est probable que ce liquide adhérant aux parois des vases sert d'électrode positive ou d'électrode négative suivant le sens du courant,

et que ce dernier agit comme force électro-chimique avec d'autant plus d'énergie qu'il exerce déjà une action attractive sur les molécules de la substance solide. J'avais donc déjà à cette époque le pressentiment du rôle que doivent jouer les parois des vases comme conducteurs solides sur la production des phénomènes électro-capillaires.

Dans l'expérience de Davy, relative à l'action de l'électricité sur les substances insolubles, cette action est très faible quand les deux électrodes ne sont pas en contact avec ces substances, et elle est à son maximum quand il a lieu avec ces deux électrodes, et elle est moindre avec une seule; l'illustre chimiste anglais n'avait pas remarqué cette condition qui est quelquefois prépondérante. Il est probable que l'appareil avec lequel on a opéré était disposé de telle sorte que les deux lames d'or touchaient aux parois intérieures des deux vases; il devait donc obtenir, dans ce cas, en employant surtout une pile énergique, des effets de décomposition bien marqués; c'est là un cas particulier des phénomènes électro-capillaires dans les vases dont les parois servent de conducteurs.

Avant que l'on connût les phénomènes électro-capillaires, on savait que, pour produire des courants dus à l'action chimique, il fallait la présence de deux liquides et un corps conducteur, ou deux corps conducteurs et un liquide agissant chimiquement sur l'un d'eux ; ce corps solide n'est plus nécessaire maintenant puisqu'une paroi humide d'un corps non-conducteur peut remplacer un corps conducteur solide bien qu'à un moindre degré.

Il suit de là que, dans un tube fermé par un bout avec un tampon d'asbeste dont les filaments sont bien serrés, on a un grand nombre d'espaces capillaires dans lesquels il se

produit les mêmes effets que dans la fissure d'un tube fêlé; l'expérience confirme cette conséquence quand on opère, d'une part, avec une solution de nitrate de cuivre ou d'argent, de l'autre, avec une dissolution de monosulfure de sodium.

D'un autre côté, quand on fait réagir une solution acide sur un métal oxydable, on démontre l'existence du courant électrique à l'aide d'un galvanomètre; mais il n'en est plus de même en remplaçant le métal par un corps non conducteur de l'électricité comme cela arrive, en faisant réagir sur du spath d'Islande de l'acide chlorhydrique étendu. Peut-on mettre en évidence le dégagement d'électricité dans ce cas-là? Cette question n'a pas encore été résolue et ne peut l'être qu'à l'aide des effets électro-capillaires.

Dans l'appareil, dont j'ai parlé dans mon dernier mémoire, composé d'un tube fermé par en bas avec un tampon de papier à filtrer, traversé par un cylindre de charbon de cornue, si l'on verse dans le tube une dissolution de nitrate de cuivre ou une autre dissolution métallique, et si l'on plonge ce tube par le bout fermé dans une dissolution de monosulfure alcalin il en résulte un couple voltaïque d'après lequel le bout du cylindre de charbon de cornue plongeant dans la dissolution métallique est le pôle négatif; le nitrate de cuivre est alors décomposé avec réduction de cuivre sur la partie du charbon qui est en contact avec la dissolution de ce dernier sel.

Au lieu d'employer un tampon de papier et un cylindre de charbon, on peut se borner à fermer le tube avec une membrane animale ou végétale: la réduction métallique a encore lieu sur la face de la membrane laquelle est en contact avec la solution métallique qui est l'électrode négative; il en est

encore de même avec le tampon seul, mais alors l'action est excessivement lente : on voit apparaître d'abord sur le papier des points de cuivre métallique, qui grossissent peu à peu et finissent par former une espèce de couronne de cuivre. Avec la membrane le cuivre déposé forme une plaque très-mince qui arrête l'asbeste.

D'autres solutions métalliques produisent de semblables effets, qui sont bien dus à des actions électro-capillaires ; les espaces capillaires sont donc de véritables laboratoires de chimie, dans lesquels on peut produire une foule de réactions qui indiquent que de semblables effets peuvent avoir lieu dans les tissus des corps organisés, lesquels renferment une foule innombrable de ces espaces.

§ VIII. — *Développements relatifs aux phénomènes électro-capillaires, communiqués à l'Académie dans la séance du* 10 *février* 1868.

J'ai montré que, lorsqu'on place entre deux lames de verre une bande de papier à filtrer, afin de faire écouler lentement l'une des deux solutions mises dans la partie supérieure de l'appareil plongeant dans une autre solution, on avait des actions électro-capillaires continues. Voici quelques applications de ce mode d'expérimentation qui ne seront pas sans intérêt.

1° On a vu précédemment qu'en imbibant une bande de papier à filtrer d'une dissolution très-concentrée de persulfate de fer contenant du sulfate de cuivre, et plongeant l'appareil dans une solution de monosulfure de sodium,

il se dépose peu à peu du sulfure noir sur le papier, puis sur le sulfure une couche excessivement mince de cuivre métallique. On a reconnu, par ce moyen, la présence de quelques millièmes de cuivre dans une solution de persulfate de fer et même dans d'autres solutions métalliques.

2° En humectant le papier intermédiaire d'une dissolution de bicarbonate de soude et faisant arriver lentement la même dissolution sur le papier, puis plongeant l'appareil dans une solution de chlorure de calcium, il ne tarde pas à se former des cristaux rhomboédriques de double carbonate de chaux et de soude. On opère avec une lame épaisse de cristal évidée à moitié dans l'épaisseur, afin de former une espèce de gouttière destinée à recevoir la dissolution qui doit humecter le papier.

3° En humectant la bande de papier d'une dissolution neutre saturée de nitrate de plomb, si l'on fait arriver la même solution lentement par l'ouverture supérieure de l'appareil plongeant dans une solution de bichromate de potasse, il se produit des cristaux en aiguilles de chromate de plomb sur la face intérieure de la bande de papier qui recouvre l'ouverture et qui a l'aspect de celui de la nature : le sous-chromate de fer est obtenu de la même manière.

4° On obtient des effets de réduction métallique remarquables en humectant la bande de papier à filtrer à diverses reprises de la dissolution sur laquelle on veut opérer, faisant sécher chaque fois cette bande, afin de donner une certaine épaisseur au sel métallique solide, qui s'en dissout au fur et à mesure que la partie supérieure est réduite.

Dans ce mémoire, je crois avoir complété toutes les re-

cherches que j'ai faites jusqu'ici sur les actions chimiques résultant des actions électro-capillaires.

Dans un cinquième mémoire, je ferai connaître l'influence que peuvent exercer les actions électro-capillaires sur les phénomènes d'endosmose, de diffusion et de dialyse.

CINQUIÈME MÉMOIRE

SUR

LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES

COMPRENANT LES RÉDUCTIONS MÉTALLIQUES

DANS LES ESPACES CAPILLAIRES

L'ENDOSMOSE, L'EXOSMOSE ET LA DIALYSE.

PAR M. BECQUEREL

Membre de l'Institut.

Lu dans les séances des 23 avril, 25 mai et 1er juin 1868.

PREMIÈRE PARTIE.

HISTORIQUE DE L'ENDOSMOSE, DE L'EXOSMOSE ET DE LA DIALYSE.

CHAPITRE PREMIER.

DES PHÉNOMÈNES D'ENDOSMOSE ET D'EXOSMOSE.

Plusieurs phénomènes attirent depuis une quarantaine d'années l'attention des physiciens, des chimistes et des physiologistes : l'endosmose, l'exosmose et la dialyse, phénomènes qui dépendent de forces physiques et chimiques; la diffusion est un phénomène à part qui ne se rattache pas jusqu'à un certain point à mon sujet, ayant lieu entre deux

liquides superposés, sans l'intermédiaire d'un corps poreux. Les recherches électro-capillaires dont je m'occupe depuis le milieu de l'année dernière m'ont mis à même d'établir une relation entre ces phénomènes et ceux qui ont une origine électro-capillaire, relation qui m'a engagé à les comprendre tous sous la dénomination de phénomènes électro-capillaires.

Ce mémoire est divisé en trois parties; la première contient un précis historique assez développé de tout ce qui concerne l'endosmose, l'exosmose, la diffusion et la dialyse; la deuxième est l'exposé de ces phénomènes considérés comme phénomènes électro-capillaires en raison de l'intervention de l'électricité; la troisième qui est relative à l'influence des cloisons et des couleurs sur ces phénomènes et à la formation des stalactites formées par le passage d'une des solutions au travers des pores de la membrane ou autres corps poreux et sa réaction sur le liquide ambiant.

Pour bien comprendre les rapports qui existent entre ces trois classes de phénomènes, je commencerai par donner un précis de nos connaissances sur l'endosmose, la diffusion et la dialyse, afin qu'on ait présent à la pensée les principaux faits observés jusqu'ici. On trouve dans un ouvrage de l'abbé Nollet (l'*Art des expériences, ou avis aux amateurs de la physique*, t. III, p. 103) le passage suivant qui est relatif à une expérience faite par Parrot : « La pénétration de l'eau « dans l'esprit-de-vin se fait d'une manière très-curieuse au « travers d'une vessie : prenez un petit bocal qui ait environ « quinze lignes d'ouverture, remplissez-le d'esprit-de-vin et « couvrez-le d'un morceau de vessie mouillée, que vous « lierez bien au col du vaisseau; après quoi vous le plongerez « dans un autre vase rempli d'eau. Quelques heures

« après, si vous le retirez de l'eau, vous verrez qu'il sera bien « plus plein qu'auparavant; de sorte que la liqueur aura « fait prendre à la vessie une figure très-convexe et qu'elle « jaillira fort loin, si vous y faites un trou avec une épingle. »

Parrot attribua cet effet à la forte affinité de l'eau pour l'alcool, en vertu de laquelle ce dernier s'empare des molécules d'eau engagées dans la vessie et oblige ensuite la molécule qui vient après à prendre la place de celle que l'alcool a enlevée à l'eau.

En 1822, Fischer de Breslau fit connaître une expérience qui contenait également le germe de l'endosmose : voici en quels termes il en rendit compte dans les *Annales* de Gilbert, t. LXXII. « Ayant placé, dit-il, dans une dissolution de cuivre un tube de verre rempli d'eau distillée et fermé par en bas avec une vessie, de telle manière que la surface de la dissolution fût d'un pouce plus élevée que l'eau dans le tube; et afin de pouvoir remarquer promptement l'introduction du sel de cuivre de l'extérieur à travers la vessie, j'avais plongé un fil de fer dans l'eau. Je fus étonné de voir que le liquide s'était élevé dans le tube, et à une hauteur telle que le niveau n'était pas seulement le même que celui du liquide extérieur, mais qu'au bout de quelques semaines il s'était élevé jusqu'à l'ouverture supérieure du tube, c'est-à-dire plus de 4 pouces au-dessus du niveau de la dissolution. Par suite, le cuivre avait été réduit par le fer. »

La concentration de l'eau-de-vie dans des peaux et l'absorption de celle-ci par des fruits, tels que des cerises, des prunes, des abricots, qui y ont séjourné, sont dues à une cause semblable.

Tel était l'état des choses, quand Dutrochet reprit

tous ces phénomènes, en découvrit un grand nombre d'autres et les réunit tous dans une théorie dite de l'endosmose et de l'exosmose. Dutrochet, s'il a été aidé par des faits découverts avant lui, a le mérite incontestable d'avoir approfondi cette classe de phénomènes plus qu'on ne l'avait fait auparavant, de les avoir coordonnés et d'en avoir déduit des principes; aussi doit-on le considérer comme étant celui qui a découvert l'endosmose. Dutrochet, dans un mémoire présenté à l'Académie des Sciences le 30 août 1826 (*Annales de physique et de chimie*, t. XXXV), a posé en principe que, lorsque deux liquides hétérogènes pouvant se mêler sont séparés par une cloison à pores capillaires, ils marchent inégalement l'un vers l'autre, en traversant la membrane. Il existe donc deux courants, le plus fort a été appelé par lui endosmose, le plus faible exosmose, et l'appareil destiné à mettre en évidence ce double courant, endosmomètre.

Dutrochet a essayé de montrer que la cloison séparatrice exerçait une influence suivant sa nature.

En opérant avec une lame de grès tendre, de l'eau ordinaire et de l'eau chargée de gomme, il ne s'est pas produit d'endosmose.

Avec une lame de grès dur et ferrugineux, on a eu endosmose très-faible; le grès, en général, est privé de la propriété endosmométrique; il a remarqué cependant que la terre de pipe fortement chauffée la possède assez bien. Je ferai remarquer que Dutrochet ne s'était pas placé dans les conditions voulues pour montrer que les cloisons poreuses en silice pouvaient aussi bien que les cloisons de nature quelconque, organique ou non, produire l'endosmose, à des degrés différents toutefois. C'est une question sur laquelle

je reviendrai dans la troisième partie de ce mémoire.

Il n'admet pas que la porcelaine dégourdie donne des signes d'endosmose. M. Graham ne l'a employée que pour la diffusion.

Il a tiré de là la conséquence que les corps siliceux sont privés ou à peu près de la propriété de produire l'endosmose.

Une lame de calcaire ne produit également le phénomène qu'à un faible degré.

L'élévation de température en général accroît l'endosmose, toutefois entre certaines limites.

L'effet, en général, est proportionnel à l'étendue de la surface de la cloison. On prend pour élément de la vitesse et de la force de l'endosmose la quantité de liquide introduite dans un temps donné pour le même appareil. Le sucre est de tous les liquides celui qui a le plus grand pouvoir d'endosmose, etc.

§ I. — *Exposé des faits observés par Dutrochet.*

Les phénomènes d'endosmose, tels qu'ils ont été étudiés par Dutrochet, sont les résultats d'effets physiques et chimiques dont toutes les causes productrices ne sont pas encore connues; nous allons voir effectivement qu'une différence dans la densité des liquides ou l'addition d'une faible quantité d'un autre liquide, suffit pour faire changer le sens de l'endosmose et même l'anéantir; c'est ce motif qui m'a engagé à donner un résumé assez détaillé des résultats auxquels Dutrochet est parvenu, dans ses nombreuses expériences sur cette intéressante classe de phénomènes, afin qu'on puisse saisir facilement leur ensemble. On y trouvera en outre l'avantage de comparer les faits trouvés par

Dutrochet avec ceux que j'ai observés et d'en déduire des considérations théoriques.

Dans les expériences dont il va être question, Dutrochet a pris presque toujours pour cloison séparatrice la vessie; quand on a expérimenté avec une cloison d'une autre nature il a toujours eu le soin de le dire. L'endosmomètre se compose d'un tube de verre et d'une partie évasée mobile, à laquelle il est adapté et qui est fermée avec un morceau de vessie fixé par une forte ligature dans une gorge pratiquée à cet effet; la partie évasée est le réservoir.

Citons les principaux faits dont la science lui est redevable :

Une solution composée de 1 partie de sucre et de 4 d'eau, placée dans l'endosmomètre, donne avec l'eau une endosmose de l'eau vers la solution sucrée. En doublant la quantité de sucre, l'endosmose va dans le même sens; la vitesse du phénomène ne paraît pas proportionnelle à la quantité de sucre en solution.

Il a observé qu'une lame d'argile avec le même liquide peut donner des résultats très-différents. Il doit en être ainsi, si la porosité n'est pas constamment la même. Suivant Dutrochet, les vitesses de l'endosmose produite par les diverses densités d'un même liquide placé dans l'endosmomètre, sont proportionnelles aux excès de la densité de ces liquides intérieurs sur celle de l'eau.

Cette loi, suivant lui, n'est applicable qu'à des cas spéciaux.

Dutrochet a donné la préférence, pour mesurer la force endosmométrique, au sucre, qui a l'avantage sur les autres substances d'agir sur la membrane organique de l'appareil, comme substance conservatrice, cela est vrai; car, lors-

qu'on emploie des solutions acides ou alcalines, cette cloison est assez promptement altérée et alors la porosité est changée.

Il a tiré de ses recherches la conséquence que la loi qui préside à la force d'endosmose est la même que celle qui régit la vitesse. L'énergie de l'endosmose ne dépend pas exclusivement de la différence de densité des deux liquides, mais encore de certaines qualités indépendantes de la densité et propres à certains liquides. Ainsi, l'alcool moins dense que l'eau produit une endosmose très-énergique de l'eau vers l'alcool. En prenant la vessie pour cloison séparatrice, Dutrochet a trouvé qu'à densité égale, une solution de sel marin et une autre de sulfate de soude, à densité égale, à l'égard de l'eau, ont des pouvoirs d'endosmose, dans le rapport de 1 à 2.

L'eau gélatineuse et l'eau albumineuse, à l'égard de l'eau, ont des rapports d'endosmose de l'une à l'autre dans le rapport de 1 à 4.

Le sucre est de toutes les substances végétales celle qui possède le plus grand pouvoir d'endosmose.

Quant aux substances organiques animales, l'eau albumineuse est celle qui a le plus grand pouvoir d'endosmose, et la solution gélatineuse celle dont le pouvoir est le moins fort.

Nous ferons aussi remarquer qu'en général l'abaissement de température favorise l'endosmose vers l'eau tandis que l'élévation produit un effet inverse.

Passons en revue quelques-uns des effets les plus remarquables de l'endosmose.

Lorsque les substances solubles organiques, les sels en solution, les alcalis, l'alcool, les terres sont placés dans l'endosmomètre, fermé par une membrane animale ou végétale, le

courant d'endosmose est toujours dirigé de l'eau vers la solution, quelle que soit la température.

Voyons comment se comportent les acides par rapport à l'eau : l'acide nitrique à la densité de 1,12 et au dessus, et à la température de 10°, offre l'endosmose vers l'acide. Quand la densité est de 1,08, l'endosmose suit une direction contraire; quand elle est de 1,09, il n'y a aucun effet de produit. Pour des températures plus élevées que 10°, l'acide nitrique, quand la cloison séparatrice est une membrane animale, détruit promptement l'endosmose, si la densité surtout n'est pas très-forte.

L'acide hydrochlorique est le plus puissant des acides minéraux pour produire l'endosmose de l'eau vers l'acide. Si l'on veut obtenir cet effet en sens inverse, il faut affaiblir considérablement sa densité.

L'acide sulfurique produit l'endosmose comme les autres acides, dans deux directions opposées; à la température de + 10° et avec une densité de 1,093, l'endosmose a lieu vers l'acide. Quand sa densité est de 1,054, l'effet se produit en sens inverse; la densité 1,07 est le terme moyen qui ne donne point d'endosmose.

L'acide hydrosulfurique est également propre à produire ce phénomène.

Quand on ajoute quelques gouttes de l'un des derniers acides à une solution d'eau gommée ou d'eau sucrée, d'une faible densité, on anéantit l'endosmose.

Avec l'acide oxalique, le courant d'endosmose va de l'acide vers l'eau, de sorte que si l'on met le premier dans l'endosmomètre, il s'abaisse rapidement.

L'acide oxalique donne des effets d'autant plus rapides

dans le même sens qu'il est plus dense. On voit donc ici qu'un liquide plus dense que l'eau, et qui est moins ascendant qu'elle dans les tubes capillaires, détermine le courant d'endosmose et le courant d'exosmose.

Cette propriété n'appartient pas seulement à ces deux acides, elle est encore commune aux acides tartrique et citrique. Il faut, pour cela, que l'acide tartrique possède une densité supérieure à 1,05 et que la température soit à + 25°; car lorsqu'elle est inférieure, toutes choses égales d'ailleurs, le courant suit une direction opposée; à la densité moyenne de 1,05 et à la température de + 27° centésimaux; il n'y a pas d'endosmose.

Quand la température baisse, il faut une plus grande densité à l'acide pour présenter le terme moyen qui sépare les deux endosmoses opposées. Ainsi, à + 15°, ce terme moyen de densité de l'acide tartrique est de 1,1.

Il est important de noter le changement de direction du courant d'endosmose, suivant le degré de densité de l'acide et le degré de température, et ce qui se passe quand les deux liquides sont séparés par une membrane végétale, au lieu d'une membrane animale. Nous allons en faire sentir la conséquence en ce qui concerne la dernière observation; l'acide oxalique, avec la membrane animale, offre toujours l'endosmose de l'acide vers l'eau, quelles que soient la densité de l'acide et sa température. Avec une membrane végétale, telle que la partie inférieure de la tige du poireau, le courant d'endosmose va, au contraire, de l'eau vers l'acide, quelles que soient la densité de l'acide et sa température.

L'acide sulfurique, à la densité de 1,0274 et par une température de + 4° cent., avec l'eau dont il est séparé par une

membrane végétale, a présenté l'endosmose vers l'acide, résultat inverse de celui que l'on obtient avec une membrane animale.

L'acide hydrosulfurique, à la densité de 1,00628, et à une température de + 5°, a donné des effets contraires, selon que l'on employait une membrane animale ou végétale.

On voit donc que les acides présentent un phénomène, exceptionnel, puisque, quand ils sont séparés de l'eau pure par une membrane animale, le courant d'endosmose est dirigé tantôt de l'eau vers l'acide, tantôt de l'acide vers l'eau, selon la densité de l'acide et la température.

Relativement aux phénomènes d'endosmose produits par les acides séparés des alcalis par une membrane, voici ce que Dutrochet a observé à l'égard de l'acide hydrochlorique seulement et des solutions de l'acide :

L'acide hydrochlorique étendu d'eau, d'une densité de 1,012, séparé d'une solution de l'alcali par un morceau de vessie, à une température de + 12 à 15°, donne constamment un courant d'endosmose vers l'alcali, quelle que soit la faiblesse de sa densité.

A la densité semblable, 1,012, de l'acide et de l'alcali, le courant d'endosmose suit encore la même direction ; mais si on conserve à la soude sa densité, et qu'on porte celle de l'acide hydrochlorique à 1,07, le courant d'endosmose est renversé.

Les phénomènes que nous venons de décrire sont également produits avec des plaques inorganiques ayant une certaine porosité.

Avec une plaque d'argile cuite on obtient l'endosmose à un degré aussi marqué qu'avec la membrane.

Il résulte des faits que nous venons d'exposer succinctement que les phénomènes d'endosmose et d'exosmose dépendent : 1° de l'action réciproque des deux liquides hétérogènes l'un sur l'autre, laquelle modifie et intervertit même tout à fait la force de pénétration propre à chacun de ces liquides ; 2° de l'action particulière de la membrane sur les deux liquides qui la pénètrent, action qui, dans la membrane animale, donne le courant fort vers l'acide pourvu d'une densité déterminée, tandis qu'avec la membrane végétale l'effet est inverse ; 3° de l'action capillaire produite dans les interstices de la membrane. Une autre cause intervient encore, comme on le verra dans la deuxième partie de ce mémoire.

§ II.— *Des théories imaginées pour expliquer les phénomènes d'endosmose peu après leur découverte.*

Dutrochet, pour expliquer les phénomènes d'endosmose, avait admis que leur production était due à la différence de l'ascension capillaire entre deux liquides, mais, ayant observé depuis des effets contraires dans la direction des acides et dans celle de l'eau, cette exception devait infirmer la loi générale qu'il avait cherché à établir ; il se borna donc à dire que cette loi ne pouvait être appliquée qu'aux faits généraux qui sont les plus nombreux ; en cela, il avait raison, car les exceptions proviennent souvent de causes accidentelles qui sont parfois inaperçues ; Dutrochet a posé néanmoins, en principe, que l'inégalité de l'ascension capillaire de deux liquides que sépare une cloison à pores assez petits, pour s'opposer à la facile perméabilité de ces deux

liquides, en vertu de leur seule pesanteur, est une des conditions générales de l'existence de l'endosmose qui, dans le plus grand nombre de cas, dirige son courant, du liquide le plus ascendant dans les tubes capillaires vers le liquide le moins ascendant. Pour s'assurer jusqu'à quel point ce principe était fondé, l'inégalité de densité des liquides étant une cause d'endosmose, il a dû rechercher quelle était la différence d'ascension capillaire, résultant d'une différence déterminée dans cette densité. Il fallait ensuite rechercher si la différence d'ascension capillaire des deux liquides était en rapport constant avec la densité de l'endosmose.

Les résultats qu'il a obtenus dans ses expériences montrent que les deux excès d'ascension capillaire de l'eau sur chacune de deux solutions de sel marin, par exemple, sont dans le rapport de 2 à 1, qui est celui du pouvoir de l'endosmose; mais les expériences qu'il a faites à ce sujet n'étaient pas encore assez nombreuses pour qu'il pût généraliser ce rapport; quant à la cause du phénomène, Dutrochet s'est borné à dire qu'elle existe dans la cloison séparatrice; cette idée a du vrai, mais il y a d'autres causes agissantes, qu'il soupçonnait, comme je le dirai plus loin.

M. Poisson, en 1826, à l'époque où Dutrochet publia ses premières expériences, émit l'idée que les phénomènes observés pouvaient être attribués à l'attraction capillaire jointe à l'affinité des deux liquides hétérogènes. (*Annales de physique et de chimie*, t. XXXV, p. 98.)

M. Dutrochet objecta à cette théorie que, dans ce cas, il ne devait exister qu'un seul courant au travers de la membrane, tandis qu'il y en avait deux, dirigés en sens contraire et inégaux en force.

J'exposai en 1834 (*Traité d'électricité et de magnétisme*, tome I[er], page 351) des considérations sur lesquelles je m'appuyai deux ans plus tard pour présenter une théorie du phénomène d'endosmose.

M. Magnus, à peu près à la même époque, publia dans les *Annales de Poggendorf*, une théorie qui revenait à peu près à celle de Poisson; suivant lui, on a une explication complète du phénomène, en considérant la vessie comme un corps poreux et en admettant : 1° qu'il existe une certaine force d'attraction entre les molécules de liquides différents; 2° que les liquides différents passent plus ou moins facilement par la même ouverture capillaire, principe assez juste probablement; puis, ajoute-t-il, quand les molécules d'une solution saline quelconque auront entre elles plus de cohésion, elles passeront plus difficilement que l'eau par des ouvertures très-étroites, toutes choses égales d'ailleurs. Il en résulte que, plus une dissolution est concentrée, plus elle aura de difficulté à pénétrer par des ouvertures capillaires.

Or il n'en est pas toujours ainsi, comme les solutions acides le prouvent, ce qui montre que les données de Poisson et celles de M. Magnus ne sont pas suffisantes pour expliquer tous les phénomènes.

D'autres physiciens ont rapporté ce phénomène à la différence de viscosité des deux liquides; le liquide le moins visqueux, filtrant avec plus de facilité que l'autre, devait augmenter sans cesse de volume. Suivant cette manière de voir, on serait obligé de considérer certains liquides, très-peu denses, comme des liquides très-peu visqueux, afin d'expliquer pourquoi l'endosmose est dirigée de l'eau vers l'alcool. Or

diverses expériences, montrent que le courant n'est pas toujours dirigé du liquide le moins visqueux vers le liquide qui l'est le plus. Enfin on attribue ce phénomène à la différence d'imbibition de la cloison pour chaque liquide.

Avant d'aborder la théorie que je donnai de l'endosmose, je parlerai de plusieurs questions qui s'y rapportent. (*Traité d'électricité et de magnétisme*, t. I, p. 351.)

Je commençai d'abord par m'occuper de l'influence des parois, des tubes et des vaisseaux à petits diamètres, ou des surfaces de nature quelconque, sur les effets électro-chimiques. On ignore la nature des forces vitales et les modifications qu'elles font éprouver aux composés organiques, qui se trouvent dans les tissus et les organes des corps vivants; mais, comme toute réaction chimique est toujours accompagnée d'effets électriques qui peuvent devenir forces physiques et forces chimiques, il est naturel de supposer que les organes des corps vivants possèdent le pouvoir d'opérer cette transformation, pouvant produire de nouveaux composés. Dans l'impossibilité de trouver directement ce mode d'action des tissus organiques qui dépend de l'action des forces vitales, j'ai cherché, lors de mes premières vues théoriques, s'il ne serait pas possible de découvrir dans les vaisseaux ou tubes d'un petit diamètre, dont les parois sont de nature quelconque, certaines propriétés analogues à celles que l'on attribue au tissu, quand il se trouve sous l'empire des forces vitales. C'est là le motif qui m'a conduit à des recherches qui ont amené la réduction de l'oxyde de nickel, en faisant intervenir l'influence des parois des tubes capillaires. On verra, quand je traiterai la question des sécrétions, comment il peut se faire que des influences semblables à celles dont je viens de

parler, peuvent exercer une certaine influence sur leur formation. Je désignai sous le nom d'électro-capillo-chimiques les effets qui sont produits dans cette même circonstance.

Dans le quatrième volume du même ouvrage, p. 192, qui parut en 1836, j'abordai la théorie de l'endosmose, mais je ne rapporterai ici que ce qui concerne l'influence de l'électricité.

« Suivant la théorie de Poisson et la manière de voir de Berzélius et celle de M. G. Magnus, on conçoit quelles sont les causes physiques qui concourent à l'effet général. L'attraction entre les particules d'une solution saline se compose des attractions mutuelles de l'eau et du sel et de l'attraction réciproque des molécules de ces corps pris à part; quand ces attractions réunies sont plus fortes que celles des molécules d'eau entre elles, l'eau doit passer d'autant plus facilement à travers les pores du corps poreux interposé, qu'elle contient une moins grande quantité de corps étrangers en dissolution. Dans le cas où la membrane sépare deux dissolutions dans lesquelles l'attraction entre les parties est inégale et qui exercent, en outre, une attraction réciproque l'une sur l'autre, et une autre sur les pores de la vessie, il en résulte que l'une d'elles est attirée avec plus de force par ces pores et que, par conséquent, la quantité absorbée doit être plus considérable d'un côté que de l'autre. Le liquide situé de l'autre côté attire aussi celui qui a pénétré la membrane et se mêle avec lui. Voilà comment on peut concevoir le double courant. »

« Nous voyons par là que l'endosmose est un phénomène très-complexe et qu'il est bien difficile de prévoir *à priori* l'effet qui doit être produit dans telle ou telle circonstance. Nous allons examiner maintenant jusqu'à quel point l'électricité peut joindre son action à celle des diverses causes que



nous venons de passer en revue pour produire les effets observés.

« Dans les phénomènes qui nous occupent, nous admettons comme cause influente, indépendamment des effets de capillarité, l'action des deux liquides l'un sur l'autre et celle de chacun d'eux sur la membrane, trois actions chimiques qui donnent naissance chacune à des effets électriques particuliers. S'il n'existait que deux corps agissant l'un sur l'autre, il n'y aurait pas de courant électrique, suivant les idées anciennes, puisqu'il y aurait une recomposition tumultueuse des deux électricités dégagées sur la surface même du contact; mais, ici, ce n'est pas le cas. Il y a toujours trois corps en contact, en y comprenant la membrane ou corps intermédiaire, dont l'un sert à la circulation des deux électricités mises en liberté, à l'instant de la réaction chimique des deux liquides l'un sur l'autre. Il peut donc exister trois espèces de courant dont la résultante dépend de la nature des liquides et de celle de la membrane.

« On peut nous objecter qu'un couple voltaïque est toujours formé de deux corps solides conducteurs en contact, baigné par un liquide également conducteur, réagissant chimiquement sur l'un d'eux, ou bien de deux liquides réagissant l'un sur l'autre et d'un corps solide réagissant sur l'un d'eux; ces corps étant conducteurs de l'électricité. Le fait est vrai, *quand il s'agit de corps ayant une étendue déterminée; mais il est infiniment probable qu'il n'en est pas de même quand on considère les parties élémentaires, ou bien des fractions extrêmement ténues*. En effet, mille faits nous prouvent que les courants électriques *sont capables de transporter, aux deux pôles d'une pile*, les éléments de tous les

corps, même de ceux qui ne sont pas conducteurs de l'électricité. Nous citerons particulièrement le soufre, la silice, la magnésie, etc., qui, quoique non conducteurs, sont transportés par l'électricité quand ils font partie d'une combinaison décomposée par elle.

« Ce fait nous montre que le plus ou moins de conductibilité des corps dépend moins de la nature des éléments que du mode de groupement de ces derniers, comme le charbon et le diamant en sont la preuve. Si donc il était possible de réduire ces corps en leurs particules élémentaires, celles-ci pourraient servir à former des petits couples voltaïques. »

Il résulte de là que plus on broie menu ces corps, plus les parties que l'on obtient tendent à acquérir la faculté conductrice; quand elles n'en sont pas pourvues complétement, leur surface la possède à des degrés plus ou moins marqués. « *C'est à cette propriété des surfaces que nous attribuons, dans une foule de cas, la précipitation des métaux et la cristallisation des sels sur les parois des vases.* »

Le lecteur peut consulter, à cet égard, ce que nous avons déjà exposé touchant l'influence des surfaces sur les effets électro-chimiques. Tout porte donc à croire que lorsqu'une particule acide se combine avec une particule alcaline, si l'une et l'autre sont en contact avec un corpuscule très-ténu, non conducteur, la recomposition des deux électricités dégagées pendant l'acte de la combinaison, s'effectue par son intermédiaire, de sorte que cet assemblage forme un petit couple voltaïque. Dans la nature, un nombre infini d'effets de ce genre ont lieu et concourent efficacement aux réactions chimiques. Ces courants corpusculaires ne peuvent manquer d'être énergiques, puisque nous savons que l'électricité dé-

gagée dans l'action chimique possède une grande puissance.

« D'un autre côté, l'importante propriété des éponges de platine, découverte par Doberéiner, laquelle paraît appartenir à tous les corps, a des degrés plus ou moins marqués, quand leurs surfaces sont très-nettes, dépend d'effets de ce genre et de l'action attractive exercée par ces corps sur les gaz, laquelle est analogue à la capillarité. Nous concevons, jusqu'à un certain point, pourquoi les métaux et autres corps réduits en poudre agissent avec plus d'énergie que lorsqu'ils sont en lames; quand une particule oxygène et deux particules hydrogènes sont en contact, par exemple, avec une parcelle très-ténue d'éponge de platine, elles prennent à l'instant de leur combinaison, l'une l'électricité positive, et les deux autres l'électricité négative. Ces deux électricités, dont l'intensité est considérable, sont transmises immédiatement à la parcelle de l'éponge, qui, en raison de sa petitesse, n'en laisse passer qu'une portion, tandis que l'autre élève sa température. De semblables effets étant produits autour de chaque petite parcelle, la température de la masse doit s'élever successivement; la combinaison devient alors plus active, et l'éponge ne tarde pas à devenir incandescente. » On voit par là qu'à l'époque où je publiai la théorie de l'endosmose, j'avais un pressentiment des phénomènes électro-capillaires.

Avant d'appliquer ces faits et les vues théoriques qui en découlent aux phénomènes d'endosmose et d'exosmose, nous rappellerons certaines propriétés physiques de l'électricité qui paraissent avoir ici une application immédiate et qui vont nous servir de points de départ. Porret a fait voir que, lorsqu'une masse d'eau, soumise à l'action d'une pile d'un certain nombre d'éléments, est partagée en deux

parties par un morceau de vessie, l'un des pôles étant en communication avec une de ses parties et l'autre pôle avec la seconde, la plus grande portion du liquide de la cellule positive est transportée dans la cellule négative. Cette expérience ne réussit qu'autant que l'eau employée est peu conductrice de l'électricité, car, lorsqu'elle renferme un acide ou un sel, le transport de l'eau n'a plus lieu ou est très-faible. D'autres expériences prouvent également que l'électricité positive, quand elle est en mouvement, possède la faculté de renverser les obstacles qui se présentent sur sa route, faculté que n'a pas au même degré l'électricité négative.

Dutrochet a eu l'idée d'attribuer l'endosmose à une action de ce genre, sans se rendre compte de la nature des effets électriques qui sont produits dans les phénomènes qu'il avait découverts. Essayons d'indiquer de quelle manière l'électricité peut être rangée au nombre des causes productrices de l'endosmose.

Une solution saline concentrée, dans sa réaction sur l'eau, prend l'électricité positive et donne à l'eau l'électricité contraire. L'effet ayant lieu entre les pores de la membrane ou de la cloison séparatrice, la recomposition des deux électricités s'effectue par l'intermédiaire de ces parois, quand bien même la membrane, ou cloison intermédiaire, n'est pas conducteur de l'électricité. Il doit donc y avoir conséquemment autant de courants électriques partiels qu'il y a de pores dans la membrane; ces courants sont tous dirigés de l'eau vers la solution saline.

L'eau pure étant un mauvais conducteur, le courant positif fera passer facilement l'eau à travers la membrane, dans le compartiment où se trouve la solution. Dans ce cas, l'ac-

tion mécanique de l'électricité vient ajouter ses effets à ceux des causes déjà signalées.

Si nous considérons l'action d'un acide sur l'eau, l'expérience nous apprend que, pendant qu'elle se manifeste, l'acide prend l'électricité positive, l'eau, l'électricité négative; par conséquent la face de la membrane en contact avec l'acide étant le pôle négatif et la face opposée le pôle positif, le courant tend donc à faire passer l'eau du côté de l'acide, c'est-à-dire du pôle positif au pôle négatif. L'expérience apprend aussi que la direction du courant d'endosmose change suivant le degré de densité de l'acide et la température. Dès lors, les causes que nous avons signalées, c'est-à-dire l'attraction des particules de chaque liquide pour les particules du même liquide, et celle des deux liquides l'un pour l'autre, exerçant une action prépondérante, on est obligé d'y avoir égard de la manière que j'indiquerai plus loin.

Quant au phénomène d'endosmose qui est produit quand les acides sont séparés des alcalis par une membrane animale, nous ferons remarquer que, dans la réaction de ces deux liquides l'un sur l'autre, l'acide prenant l'électricité positive, l'alcali l'électricité négative, l'action mécanique du courant tend donc à faire passer l'alcali vers l'acide. Or le courant d'endosmose ne suit cette direction que lorsque la densité des deux liquides est dans un certain rapport; il en résulte que la force attractive des particules les unes sur les autres, intervient dans la production du phénomène.

Si donc l'électricité est au nombre des causes productrices de l'endosmose et de l'exosmose, elle ne doit pas être considérée comme celle qui est la cause unique du phénomène, puisqu'il arrive souvent que les effets produits sont dans

une direction inverse de ceux que l'on aurait obtenus si elle eût agi seule. On voit, par là, que l'endosmose et l'exosmose constituent une classe de phénomènes très-complexes dont il est bien difficile de déterminer toutes les lois *à priori*. Nous avons cru devoir les exposer avec quelques développements, afin d'établir nettement la part que peut avoir l'électricité dans leur production.

§ III. — *Remarques de Dutrochet sur ma théorie.*

Dutrochet, qui a discuté les bases de la théorie de l'endosmose telle que je viens de l'exposer, s'est exprimé en ces termes dans son ouvrage (*Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux*, t. I, p. 90) : « M. Becquerel, admettant les causes générales indiquées par MM. Poisson et Magnus, comme productrices des phénomènes de l'endosmose, leur adjoint l'impulsion électrique. Pour rendre plus facile à comprendre ce mode d'action de l'électricité dans cette circonstance, je crois devoir en faire l'exposition à l'aide de lettres : soit *ab*, l'un des canaux capillaires de la cloison qui sépare une solution saline située en dessus ou en *b*, de l'eau pure située en dessous ou en *a*, la solution saline et l'eau se trouvant en contact dans un point quelconque de l'étendue du canal capillaire, la première prend l'électricité positive, et la seconde l'électricité négative. Comme les molécules de la cloison sont conductrices de l'électricité, quand bien même cette cloison considérée dans son ensemble ne le serait pas, il en résulte que les particules de la cloison transmettent le courant circulaire de l'électricité voltaïque développée par le contact de la solution

saline et de l'eau; ces particules de la cloison remplissent donc ici l'office du fil conjonctif des deux pôles dans la pile de Volta. Ce courant circulaire de l'électricité est descendant en traversant l'épaisseur de la cloison, il est ascendant en traversant le liquide contenu dans le canal capillaire, et c'est ce mouvement ascensionnel d'un nombre considérable de courants circulaires semblables, situés sur tous les points des parois du canal capillaire, qui imprime un mouvement ascensionnel à l'eau et la pousse dans la solution saline, placée au-dessus de la cloison. Ainsi, dans cette circonstance, l'action de l'électricité sera congénère de l'action des causes auxquelles la théorie de MM. Poisson et Magnus attribue le transport par endosmose de l'eau vers la solution saline. »

« Remarquons, dit Dutrochet, que le courant de l'électricité est toujours dirigé du liquide qui prend l'électricité négative vers le liquide qui prend l'électricité positive. Or, si l'on met une solution alcaline en dessus en remplacement de la solution alcaline et que l'on conserve toujours de l'eau en dessous, la solution alcaline et l'eau, en se rencontrant dans le canal capillaire, prendront, la première l'électricité négative et la seconde l'électricité positive. Le courant électrique tendra donc alors à pousser la solution alcaline vers l'eau, ce qui est la direction opposée à celle du courant d'endosmose qui a lieu constamment dans cette circonstance de l'eau vers la solution alcaline. M. Becquerel admet qu'alors le courant d'endosmose n'est produit que par la seule action des causes admises par la théorie de MM. Poisson et Magnus. La force des courants électriques serait vaincue alors par l'action prépondérante de ces causes. Ainsi ces

dernières causes et l'électricité seraient tantôt congénères et tantôt antagonistes; dans ce sens, elles coopéreraient à la production du courant d'endosmose; dans le second cas, suivant la prépondérance de l'une quelconque de ces forces antagonistes, le courant d'endosmose serait dirigé tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé. Ce serait ainsi que l'on expliquerait, mais d'une manière vague et indécise, le fait de la direction du courant d'endosmose, tantôt de l'eau vers l'acide, tantôt de l'acide vers l'eau, lorsque ces deux substances sont séparées par un morceau de vessie. Ainsi resterait indécise l'explication de la plupart des phénomènes particuliers d'endosmose, parce que la théorie les considère comme étant dus à la réunion de causes trop compliquées pour que le raisonnement puisse les prévoir et pour que l'expérience puisse les démêler.

« Il y a deux choses à considérer dans la théorie proposée par M. Becquerel : 1° Il admet la théorie de MM. Poisson et Magnus; il ajoute à cette théorie l'action de l'électricité. J'ai fait voir que la théorie de MM. Poisson et Magnus ne peut concorder avec plusieurs des phénomènes que présente l'endosmose; or l'addition à cette théorie de l'action électrique, telle qu'elle vient d'être posée, ne la ferait pas concorder davantage avec certains faits qui la contrarient. Ainsi l'observation prouve qu'il n'y a point d'endosmose lorsque deux liquides hétérogènes, l'eau et une solution saline, par exemple, sont séparés par une cloison siliceuse à pores capillaires. Or les courants électriques mentionnés plus haut devraient avoir lieu ici, comme *ils sont censés avoir lieu lorsque ces mêmes liquides sont séparés par une cloison animale, végétale ou argileuse*, puisque ces courants peuvent

avoir lieu même lorsque la substance de la cloison n'est pas conductrice de l'électricité, ce qui est le cas où la cloison séparatrice est siliceuse. Ainsi ce fait contrarie à la fois la théorie de MM. Poisson et Magnus, et l'addition que M. Becquerel a faite à cette théorie. Toutefois je dois faire observer qu'en expliquant la manière dont le courant électrique peut être produit dans une expérience d'endosmose, M. Becquerel s'est borné à considérer l'action des deux liquides l'un sur l'autre; il n'a point tenu compte de l'affinité de l'un des liquides ou des deux liquides à la fois sur la substance de la cloison séparatrice, action d'affinité qu'il reconnaît cependant et qui est prouvée par mes expériences. Ainsi la génération électrique, telle qu'elle est expliquée plus haut, n'est donnée par M. Becquerel que comme un exemple de la manière dont ce courant électrique peut être produit; il ne prétend point qu'il ne puisse être produit que de cette manière; en effet, la science de l'électricité est-elle assez avancée pour que l'on puisse déterminer quelle serait la résultante de deux ou trois actions d'électricité moléculaire simultanées? La théorie reste donc nécessairement ici dans le vague; toutefois, en faisant voir que l'électricité développée par les actions d'affinités qui existent entre les deux liquides que sépare une cloison poreuse, et entre ces mêmes liquides et la substance de cette cloison; en faisant voir, dis-je, que cette électricité peut être la cause de la progression par endosmose de l'un de ces liquides au travers des pores capillaires de la cloison séparatrice, M. Becquerel a jeté une vive lumière sur la cause de l'endosmose, cause demeurée jusqu'à ce jour si obscure, malgré les efforts qu'ont faits les savants les plus recommandables pour la mettre en

lumière : les faits dont l'exposition va suivre prouveront, je le pense, que c'est à ses seules idées, qu'il faut s'arrêter, en rejetant tout ce qui avait été dit antérieurement pour expliquer l'endosmose. »

Je continue l'exposé des recherches qui ont été faites sur l'endosmose et les phénomènes qui en dépendent.

On verra, dans la suite de ce mémoire, que les données qui m'ont servi à établir la théorie électrique de l'endosmose, paraissent être vraies à quelques exceptions près, entre autres l'intervention que j'avais adoptée de l'action chimique exercée par chacun des deux liquides sur la cloison séparatrice, action qui n'aurait pour effet que d'altérer la porosité et de nuire par conséquent à l'endosmose en augmentant la grandeur des pores qui jouent un grand rôle dans le phénomène.

Dutrochet soutenait que cette intervention devait avoir lieu, attendu que le phénomène ne se produisait pas en employant une cloison siliceuse. Il paraît que les cloisons en grès ou autre matière siliceuse ne lui ont donné aucun résultat, parce que les cloisons dont il a fait usage n'avaient pas une porosité convenable; car on obtient également l'endosmose, quoique lentement, avec des cloisons de sable, comme je le démontrerai dans la troisième partie de ce mémoire. L'endosmose dépend non-seulement de la porosité, mais encore des effets de diffusion si bien exposés par M. Graham, de la faculté que possèdent les membranes de se mouiller plus ou moins facilement, ainsi que de l'électricité.

§ IV. — *Des recherches de M. Liebig sur les causes de l'endosmose.*

M. Liebig, dans des recherches pleines d'intérêt sur quelques-unes des causes qui produisent le mouvement des liquides dans l'organisme animal (*Annales de chimie et de physique,* 3e série, t. XXV, 1849), a eu pour but de donner une théorie toute chimique des phénomènes d'endosmose. Les résultats auxquels il a été conduit doivent être pris en sérieuse considération dans l'explication de ces phénomènes. Cet éminent chimiste s'est attaché à déterminer la loi du mélange de deux liquides séparés par une membrane, en vue surtout du mouvement des liquides dans l'organisme d'un grand nombre de classes d'animaux. Il mentionne d'abord les cas où il existe des causes bien plus puissantes que l'endosmose auxquelles est dû le mouvement des liquides; parmi ces causes il distingue dans l'organisme 1° la perméabilité des fluides à travers les parois des vaisseaux capillaires; 2° la pression atmosphérique; 3° l'attraction moléculaire des divers fluides du corps de l'animal à leur contact.

Il considère comme première condition de la pénétrabilité des corps poreux par des liquides ou de leur pouvoir d'absorption, la faculté de se mouiller en vertu de l'action capillaire; cette faculté est le résultat de l'attraction qui a lieu entre une molécule de fluide et les parois du pore. La seconde cause est l'attraction d'une molécule liquide pour une autre. On n'a aucun moyen de mesurer la grandeur d'une molécule qui est toujours infiniment plus petite que les dimensions d'un pore d'un corps poreux; dans l'intérieur d'un tube

capillaire il n'y a donc qu'un certain nombre de molécules liquides en contact avec les parois et qui sont soumises à l'action capillaire, les molécules qui se trouvent dans la partie centrale le sont seulement à l'attraction moléculaire.

On conçoit, dit-il, que, lorsqu'un fluide a pénétré par l'action capillaire dans un corps poreux, l'écoulement peut être produit par une pression mécanique et par les causes qui affaiblissent l'attraction moléculaire. La condition la plus favorable à l'écoulement d'un liquide dans les espaces capillaires en employant la pression, a lieu lorsqu'une molécule glisse facilement sur une autre; les solutions animales se trouvent dans ce cas « les tendons, dit-il, les ligaments, les « cartilages, etc., contiennent à l'état frais une certaine « quantité invariable d'eau et certaines de leurs propriétés « dépendent de cette eau. »

Il fait observer que la faculté d'abandonner l'eau par la pression n'existe que chez les substances poreuses. Il est digne de remarque, en effet, que l'eau à l'état libre paraît avoir la plus grande part dans la propriété que possèdent tous les corps organisés frais. Il cite l'expérience suivante: Si la branche dilatée d'un tube A, fermé à l'extrémité inférieure par une membrane animale, est remplie d'eau jusqu'en *a* et qu'on verse du mercure par la partie verticale et rétrécie, on voit la surface de la membrane se couvrir de gouttelettes fines qui augmentent en dimension à mesure que la pression devient plus grande; on finit ainsi par faire sortir toute l'eau si la pression devient suffisante. L'eau salée, l'huile grasse, se comportent comme l'eau. Les

effets varient suivant l'épaisseur de la membrane et la nature chimique des différents liquides. M. Liebig donne les résultats qu'il a obtenus en opérant sur divers liquides avec la vessie de bœuf, le péritoine qui recouvre la surface supérieure d'un foie de veau. Ces résultats montrent que le filtrage d'un liquide à travers une membrane animale n'est pas en rapport avec la mobilité des molécules liquides; ainsi la même pression qui fait passer par la vessie une dissolution saline et l'huile, empêche de passer l'alcool dont les molécules jouissent d'une plus grande mobilité.

Il considère comme principe fondamental, que l'état d'humidité de la cloison animale et le pouvoir absorbant des liquides sont deux éléments qui exercent une certaine influence sur la perméabilité d'un fluide à travers un tissu animal ; principes adoptés par M. Graham.

En cherchant combien 100 parties de vessie de bœuf desséchée absorbent en vingt-quatre heures de volumes d'eau, on trouve que le pouvoir d'absorption est très-variable et qu'il diminue pour les solutions salines dans la même proportion que la substance saline augmente. On observe une relation semblable avec l'alcool quand on le mélange avec l'eau. M. Liebig rappelle à ce sujet les expériences de M. Chevreul, à l'aide desquelles il montre que des membranes saturées d'huile étant plongées dans l'eau, perdent leur huile pour prendre de l'eau.

M. Liebig ayant trouvé que 130 parties de membranes animales absorbent 268 vol. d'eau et 133 vol. de dissolution saline concentrée, il saupoudra de sel marin une vessie saturée d'eau, et vit que 48 heures après toute la partie d'eau qui se trouvait dans la vessie était saturée de sel.

Il en est de même avec l'alcool et l'eau des membranes plongées dans l'alcool à l'état frais et à l'état d'imbibition aqueuse; il en résulte dans tous les points de la membrane où l'alcool et l'eau se touchent, un mélange des deux liquides; mais comme une membrane absorbe moins d'un liquide contenant de l'alcool que de l'eau pure, il s'ensuit qu'il transporte plus d'eau qu'il ne pénètre d'alcool dans le tissu animal.

Or la membrane perdant plus d'eau qu'elle ne reçoit d'alcool, il en résulte une rétractation des fibres du tissu.

Si la membrane animale pouvait absorber un égal volume d'eau salée et d'eau, ou d'eau et d'alcool, une vessie étant saturée d'eau et saupoudrée de chlorure de sodium, ou plongée dans l'alcool, le volume du liquide absorbé devrait rester invariable; la substance animale retiendrait un égal volume d'eau salée ou de mélange d'eau et d'alcool; mais comme le pouvoir absorbant du tissu animal pour l'eau contenant du sel marin ou de l'alcool est affaibli, il s'ensuit naturellement qu'une certaine quantité d'eau doit transsuder dès que sa composition est changée.

Une membrane animale pouvant être considérée comme étant composée de tubes capillaires très-étroits remplis d'un liquide aqueux dont l'écoulement est empêché par l'action capillaire, l'écoulement, par ces tubes a lieu lorsque le liquide externe est changé dans sa composition par l'intervention du sel marin, de l'alcool ou d'autres corps.

Diverses expériences ont prouvé à M. Liebig que l'attraction des substances animales poreuses pour l'eau absorbée n'empêche pas le mélange de cette eau avec d'autres liquides.

Il admet en principe que tous les liquides qui, par suite de leur mélange, éprouvent un changement dans leur nature et dans leur composition se comportent de même lorsqu'ils sont séparés par un diaphragme animal; leur mélange se fait dans les pores du tissu et la décomposition commence dans le tissu.

L'expérience suivante doit être prise en considération : quand on abandonne à l'évaporation un tube rempli d'eau salée, fermé avec de la vessie, le côté de celle-ci en contact avec l'air se couvre bientôt de cristaux de sel marin, qui finissent par former une croûte épaisse ; on voit par là que les pores de la membrane se remplissent d'eau salée qui abandonne son eau avec dépôt de sels; ainsi de suite.

Si l'on plonge un tube semblable dans de l'eau pure, celle-ci acquiert la propriété d'être troublée par l'azotate d'argent, même si l'immersion n'a duré qu'une fraction de seconde. L'eau salée qui remplit les pores du diaphragme se mélange avec l'eau pure. En général, on peut dire que, lorsque deux liquides de nature différente sont séparés par une membrane et se mêlent ensemble, il se produit un phénomène tout particulier ; on aperçoit dans la plupart des cas, pendant le mélange, un changement dans le volume des deux liquides : l'un augmente de volume et monte, l'autre diminue proportionnellement de volume et baisse.

C'est en quoi consistent les phénomènes d'endosmose et d'exosmose.

M. Liebig envisage comme il suit les effets résultant de la porosité de la membrane : la vitesse du mélange des deux liquides est en rapport direct avec le nombre des molécules des deux liquides qui, dans un temps donné, sont mis en

contact; cette vitesse dépend du contact des deux liquides, de l'étendue de la membrane et du poids spécifique du liquide.

L'influence des surfaces sur le temps que le mélange met à se faire, résulte de la différence du poids spécifique.

Je rapporterai l'expérience suivante qui est intéressante pour la question.

Si l'on remplit d'eau salée teintée en bleu un tube *ab* fermé, par l'une de ses extrémités, par un diaphragme et introduit dans un autre *c*, et si l'on verse de l'eau pure dans ce dernier, on voit peu après nager au-dessous du diaphragme une couche incolore ou à peine colorée qui ne change pas pendant des heures entières. En faisant l'expérience inverse, on remarque également au-dessus du diaphragme un liquide incolore ou à peine coloré.

c

a b

On voit par là que dans les conditions où l'on a opéré, il y a eu échange entre les deux liquides : de l'eau pure incolore passe du tube *c* dans l'eau salée du tube *ab*, et réciproquement dans la deuxième expérience, de l'eau salée et incolore du tube *ab* passe dans l'eau pure et colorée du tube *c*.

L'eau salée du tube *ab* est étendue au moyen de l'eau qui arrive du tube *c*.

On voit par là qu'aussitôt que les deux couches se sont formées au-dessus et au-dessous du diaphragme, ni l'eau salée concentrée ni l'eau pure ne sont restées plus longtemps en contact avec la membrane animale, dans le tube *ab*. Il se succède des couches de plus en plus riches en sel, c'est en

cela que consiste la diffusion de M. Graham comme on le verra plus loin.

Les expériences de M. Liebig montrent que la variation de volume dépend d'une différence dans la composition des deux liquides en contact par l'intermédiaire d'une membrane et que la durée de cette variation est en rapport direct avec la différence réelle de celle faite déjà, constatée par Dutrochet.

M. Liebig a imaginé un appareil très-commode pour mesurer la variation de volume ; il se compose de deux tubes ayant le même diamètre : l'un est fermé à son extrémité inférieure au moyen d'un diaphragme; il est rempli jusqu'à une hauteur déterminée d'un liquide, puis il est plongé dans un autre contenant de l'eau distillée; il est maintenu au moyen d'un bouchon de liége qui le ferme hermétiquement. En un certain point se trouve un petit grain de chevrotine qui forme soupape ; on verse dans le second tube de l'eau pure, et, pour équilibrer le grain de plomb, un peu plus d'eau qu'il n'est nécessaire pour amener le niveau dans les deux tubes. Les tubes étant divisés, rien n'est plus simple que de mesurer les variations de volume, pour s'en rendre compte. Il faut 1° avoir égard aux mélanges de natures différentes; 2° à leur variation de volume. Le mélange de deux liquides n'ayant pas la même composition dépend évidemment de l'attraction chimique. M. Liebig cite un grand nombre d'exemples à ce sujet; il conclut des expériences qu'il a faites à ce sujet, que le mélange de deux liquides est l'effet de l'attraction chimique ; s'il n'en était pas ainsi comment serait-il possible que des combinaisons chimiques, telles que la dissolution d'un sel dans l'eau pût être détruite

par un simple mélange, et que par là une attraction chimique pût être suspendue. En ce qui concerne le changement de deux liquides qui se mélangent à travers le diaphragme, pour l'expliquer, il faut avoir égard à cette considération que la faculté d'un corps liquide de le mouiller est l'effet d'une attraction chimique. On sait effectivement que des liquides de nature différente ou d'une composition chimique particulière sont attirés d'une manière variable par les corps solides en vertu d'une affinité dite capillaire; ainsi les parois attractives des vaisseaux organiques se comportent avec l'eau de la même manière qu'un sel qui est dissous dans l'eau. En ajoutant de l'alcool ou un autre liquide, l'eau se sépare plus ou moins parfaitement des parois des vaisseaux ou celles-ci de l'eau. Il rappelle à ce sujet les expériences de Sommering, qui montrent que l'esprit-de-vin à un degré donné étant renfermé dans une vessie et exposé à l'évaporation de l'air, et il ne reste en définitive dans la vessie que de l'alcool concentré, la surface extérieure de la vessie reste sèche; en l'étendant d'eau elle devient humide et laisse évaporer avec l'eau de l'alcool. On voit par là l'inégale attraction chimique de la vessie pour l'eau et pour l'alcool; l'eau du mélange est absorbée et s'évapore à la surface de la vessie, l'alcool y reste. M. Liebig fait observer que tous les observateurs qui ont cherché à expliquer l'endosmose ont adopté en principe qu'une des conditions de changement de volume de deux liquides séparés par une membrane et qui se mélangent l'un avec l'autre, doit être recherché dans cette membrane.

Il démontre l'influence que la nature du diaphragme exerce sur le phénomène, en comparant l'effet d'une membrane animale avec celui d'une lame mince de caoutchouc; le

volume d'alcool augmente dans un tube fermé par une membrane animale et plongeant dans l'eau pure ; il passe alors plus d'eau vers l'alcool que d'alcool vers l'eau.

Si l'on vient à fermer le tube avec une membrane munie de caoutchouc, le volume de l'alcool diminue et celui de l'eau augmente : il n'y avait de changé dans ces deux expériences que le diaphragme.

Il arrive par une série d'expériences à montrer que si les deux liquides mouillent le diaphragme d'une manière inégale, il en résulte qu'à l'attraction chimique que les parties dissemblables des liquides ont les uns pour les autres s'ajoute avec l'attraction plus forte de l'eau pour la cloison membraneuse, une cause qui accélère sa mobilité ou sa faculté de transsudation , ce qui a naturellement pour effet que l'un exsude en plus grande quantité que l'autre dans le même temps. Il est difficile de suivre M. Liebig dans l'interprétation de toutes les expériences qu'il a faites pour arriver à expliquer l'endosmose. Il pense que l'action exercée par les liquides de nature différente sur la substance des tissus de l'économie animale au moyen de laquelle leur mélange est accompagné d'un changement de volume, il pense, dis-je, que cette action ressemble à une pression mécanique qui est plus forte sur une face que sur l'autre.

Il arrive aussi à cette conclusion que le changement de volume de deux liquides pouvant se mélanger et séparés par une membrane dépend de l'inégal pouvoir d'être mouillé, de l'attraction inégale que la membrane possède pour les liquides. L'inégal pouvoir d'imbibition de la membrane pour les liquides est une suite de leur attraction inégale et dépend de la nature différente des liquides ou des substances dissoutes.

CHAPITRE II.

DES PHÉNOMÈNES DE DIFFUSION, D'OSMOSE ET DE DIALYSE.

---

§ I. — *Des phénomènes de diffusion et d'osmose.*

Le phénomène de diffusion est celui qui est produit quand une solution saline étant en contact avec l'eau pure, tend à se répandre dans celle-ci, jusqu'à ce que le mélange soit complet. M. Graham (1), auquel sont dues les belles recherches qu'il a faites à ce sujet, admet que les parties salines se repoussent en vertu d'une force de même genre, mais moins intense que celle qui porte les gaz à occuper un volume plus grand, quand l'espace est augmenté. La force se manifeste également quand les deux liquides sont séparés par une cloison poreuse de nature organique ou inorganique avec des différences qui tiennent à d'autres causes.

Les expériences, en prenant pour cloison séparatrice une

---

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e partie, t. XXIX, p. 197.

cloison inorganique, une organique, puis du papier parchemin, ont été faites avec des solutions salines, simples ou mélangées, neutres, acides ou alcalines et l'eau, à la même température ou à des températures différentes, au moyen de deux flacons dont les plans extrêmes avaient été rodés à l'émeri, de manière à joindre hermétiquement; chaque vase était rempli d'un liquide différent. En opérant avec diverses solutions, il a été conduit aux conséquences suivantes :

La diffusion du chlorure de sodium paraît proportionnelle à la quantité de sel dissous.

La diffusion augmente proportionnellement à la température.

POUVOIR DIFFUSIBLE DE DIFFÉRENTES SUBSTANCES.

Désignation des substances.	Pouvoir diffusible.
Chlorure de sodium	58,05
— de sodium	58,87
Sulfate de magnésie	27,42
Nitrate de soude	52,01
Acide sulfurique	68,79
— sulfurique	69,86
Sucre de canne	26,74
— de canne fondu	26,21
Glucose	26,94
Mélasse de canne	32,55
Gomme arabique	13,24
Albumine	3,08

On voit que le sucre de canne a sensiblement le pouvoir

diffusible de celui de la glucose, et double du pouvoir de la gomme.

Dans une autre série d'expériences, M. Graham a obtenu :

Désignation des acides.	Pouvoir diffusible.
Nitrique	28,07
Chlorhydrique	34,01
Sulfurique	18,48
Acétique	18,16
Oxalique	12,38
Arsénique	12,16
Phosphorique	9,79

Les expériences de M. Graham l'ont conduit aux conséquences suivantes :

La diffusibilité est comparable à la volatilité; elle peut se placer, sous un certain point de vue, à côté de la densité des liquides. Elle permet de séparer les corps en groupes de substances également diffusibles : les limites de cette division vont au-delà des limites de l'isomorphique.

Elle partage en deux groupes les sels de potasse et de soude : les sulfates d'un côté, les nitrates de l'autre.

Elle permet de séparer un mélange de sels.

Elle peut produire des décompositions chimiques.

La diffusibilité enfin peut venir en aide aux recherches sur l'endosmose : connaissant la diffusibilité d'un sel dans un liquide donné on peut déterminer l'influence particulière à la membrane.

M. Graham a employé d'abord un osmomètre, expres-



sion qu'il a substituée à celle d'endosmomètre, en terre cuite ou en porcelaine dégourdie, auquel il adaptait un tube de verre divisé en parties égales de capacité. La solution saline était placée dans l'osmomètre, jusqu'au zéro de la division, puis il le plongeait dans un vase rempli d'eau distillée, dont le niveau était maintenu sans cesse sur le même plan que celui du liquide intérieur, afin que les deux faces de la cloison poreuse fussent soumises à des pressions égales; puis il notait d'heure en heure, pendant cinq heures, l'ascension ou la dépression du liquide dans le tube, et il déterminait avec la liqueur d'essai la quantité de sel qui traversait la cloison et se diffusait dans l'eau extérieure. Les expériences ont été faites à une température variant de 13 à 18°; il indiquait les précautions à prendre pour obtenir toujours des résultats comparables avec la même dissolution.

Dans toutes les expériences, il donnait les quantités de sel en dissolution; quand il ne le faisait pas, cela signifiait qu'il y avait une partie de sel pour 100 d'eau : le maximum d'ascension a été obtenu pour des dissolutions étendues contenant $\frac{1}{100}$ de sel.

M. Graham a partagé en quatre classes les substances solubles de toute nature, qu'il a soumises à l'expérience.

1re *classe*. Les substances ayant un faible pouvoir osmotique dans des vases en terre (osmose inférieure à 25 millimètres). A cette classe appartiennent très-probablement presque toutes les substances organiques neutres, telles que l'alcool, l'esprit de bois, le sucre, la glucose, la mannite.

On peut rapporter à cette classe la majeure partie des sels terreux et métalliques proprement dits, le chlorure de so-

dium (19 millimètres) quand la solution ne contient que 125 milligrammes pour 100 de sels, tandis qu'elle diminue rapidement et peut même devenir négative lorsque la proportion atteint et dépasse même 1 pour 100. Il en est de même du chlorure de potassium, du nitrate de soude (18 milligr.), du nitrate d'argent (18 milligr.).

2e *classe*. Pouvoir osmotique médiocre; osmose de 20 à 35 millimètres.

L'acide sulfurique et les acides tartrique, citrique, chlorhydrique, nitrique, acétique.

3e *classe*. Comprenant les corps ayant un pouvoir osmotique considérable. Osmose de 35 à 55 millimètres.

Les acides minéraux, énergiques, certains sels neutres : les sulfates de potasse, de soude, d'ammoniaque.

4e *classe*. Substances ayant les pouvoirs osmotiques les plus considérables dans des vases de terre. Cette classe comprend les sels à base alcaline présentant une réaction franchement acide ou alcaline, ainsi que quelques sels neutres de potasse. (*Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XLV, p. 15.) M. Graham fait observer que les alcalis exerçant une action énergique sur la matière de la cloison, leur osmose doit être toujours probablement troublée par des causes étrangères. L'osmose est positive quand l'alcali est très-étendu et devient même négative quand il est plus concentré.

Il a reconnu en outre qu'il est impossible de chasser, par des lavages, des pores de la cloison la totalité des matières acides ou alcalines employées; les phénomènes de décomposition qui ont lieu dans ces pores, paraissent se continuer indéfiniment.

Les sels de potasse sont aussi retenus énergiquement ou

absorbés par les pores de la cloison. Ce phénomène est du même ordre que celui de l'absorption des alcalis par les matières alumineuses. Des cloisons qui n'éprouvent aucune action chimique de la part des sels, n'ont pas de pouvoir osmotique, bien qu'elles possèdent une porosité convenable, telles que la pierre à plâtre, le charbon moulé, le cuir tanné; elles sont sans action comparée à celle de l'argile cuite. L'argile plastique blanche a un pouvoir osmotique insignifiant, comparé à celui de la même argile calcinée. M. Graham explique ce fait en admettant que l'argile plastique, au maximum d'hydratation, n'éprouve plus de la part de l'eau aucune altération chimique, tandis que l'argile cuite serait transformée par l'action de la chaleur sur les silicates alumineux en une matière plus facilement attaquable. Nos expériences, comme on le verra plus loin, ne justifient pas tout à fait cette conclusion de M. Graham.

Une plaque de calcaire impur possède un pouvoir osmotique plus considérable que celui d'une plaque de marbre blanc pur.

M. Graham a fait usage également comme Dutrochet de cloisons formées de membranes animales, lesquelles, outre leur faible épaisseur et leur perméabilité, opposent au passage des liquides une assez forte résistance sous l'influence des pressions mécaniques ; sous ce rapport elles présentent de grands avantages sur les cloisons en matière minérale.

L'appareil dont il a fait usage n'est qu'une modification de l'appareil Dutrochet. (Voir sa description, *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XLV, p. 20.)

Il fait remarquer que la tunique musculaire externe entrant rapidement en putréfaction et éprouvant par conséquent

des changements de structure, il résulte que les quantités de substances insolubles qui s'en séparent occasionnent des irrégularités nuisibles aux expériences. C'est pour ce motif que M. Graham a toujours enlevé la tunique musculaire en ne conservant que la tunique séreuse.

Dans ses expériences, avec de bonnes membranes, le temps qui s'écoulait entre la chute de deux gouttes d'eau variait de 1 à 20 minutes.

La quantité de sel diffusé varie suivant la perméabilité osmotique des membranes et non suivant la porosité mécanique.

M. Graham admet plus d'un point de ressemblance entre les effets des membranes et ceux des cloisons en terre. La membrane est sans cesse en voie de décomposition; en outre l'action osmotique de la membrane paraît diminuer très-lentement. Il admet que les sels et autres substances en solutions très-étendues, qui déterminent une osmose considérable, appartiennent tous à la classe des substances chimiquement actives; tandis que la grande majorité des matières organiques et des sels parfaitement neutres, ces dernières appartenant à des acides monobasiques, donnent une endosmose très-faible.

La capillarité ne suffit pas pour expliquer le mouvement du liquide. La force motrice paraît être due à l'affinité chimique sous l'une des formes qu'elle affecte. (Je renvoie, pour la théorie chimique de M. Graham, à son mémoire : *Annales de chimie et de physique*, t. XLV, p. 17 et suivantes.)

Le tableau suivant contient un grand nombre de résultats numériques d'osmose obtenus avec des diaphragmes membraneux et que je rapporte ici pour les invoquer au besoin. J'ai mis en regard l'état électrique de la solution dans son

contact avec l'eau, celle-ci prenant l'électricité positive, en attendant que je puisse donner la force électro-motrice des deux liquides.

ÉTAT OSMOMÉTRIQUE ET ÉLECTRIQUE DE TRENTE-CINQ SUBSTANCES, A L'ÉGARD DE L'EAU DISTILLÉE.

	Hauteur osmométrique trouvée par M. Graham. mm.	État électrique trouvé par M. Becquerel.		Hauteur osmométrique trouvée par M. Graham. mm.	État électrique trouvé par M. Becquerel.
Acide oxalique	— 148	+	Chlorure de zinc	45	+
— chlorhydrique (0,1 p. 100)	— 92	+	— de nickel	88	+
Trichlorure d'or	— 54	+	Nitrate de plomb	204	+
Bichlorure d'étain	— 46	+	— de cadmium	137	+
— de platine	— 30	+	— d'uranium	458	+
Nitrate de magnésie	— 22	—	— de cuivre	204	+
Chlorure de magnésium	— 2	+	Chlorure de cuivre	351	+
— de sodium	+ 12	+	Protochlorure d'étain	289	+
— de potassium	18	+	— de fer	435	+
Nitrate de soude	14	—	Bichlorure de mercure	121	+
— d'argent	34	+	Nitrate mercureux	450	+
Sulfate de potasse	— 21 à 60	—	— mercurique	476	+
— de magnésie	14	—	Acétate de sexquioxyde de fer	194	+
Chlorure de calcium	20	+?	— d'alumine	393	+
— de barium	21	+?	Chlorate d'aluminium	540	+
— de strontium	26	+?	Phosphate de soude	311	+
— de cobalt	26	+	Carbonate de potasse	439	+
— de manganèse	34	+			

On voit que les liquides acides occupent l'une des extrémités du tableau, et les liquides alcalins l'autre. Les premières déterminent les osmoses négatives; les secondes, au contraire, provoquent les ascensions positives avec le plus d'énergie.

M. Graham en conclut que l'eau pendant l'osmose doit passer du même côté que l'alcali, comme elle suit l'hydrogène et les alcalis dans l'endosmose électrique. Nous verrons plus loin jusqu'à quel point cette assertion est fondée.

L'osmose, suivant lui, est due à une action chimique différente sur chacune des deux faces de la membrane; ces deux actions non-seulement doivent être inégales en intensité, mais encore différentes quant à leur nature même.

Il résulte des faits observés, d'après M. Graham, que, par suite des actions exercées sur la matière albuminoïde de la membrane, les acides se portent vers la surface externe, les bases sur la surface interne, l'eau se porte toujours du côté basique. Il n'est pas nécessaire, nous le pensons, de faire intervenir pour cela l'altération de la membrane.

Si l'osmomètre renferme un acide étendu, auquel cas l'osmose est négative, le courant d'eau devant être dirigé du côté basique, s'établira de l'intérieur vers l'extérieur; l'eau du vase extérieur est basique par rapport à l'acide contenu dans l'osmomètre, l'osmose positive, si considérable, que produisent les sels de sesquioxyde de fer, de chrome, d'aluminium, d'uranium, est des plus remarquables; elle contraste singulièrement avec l'osmose très-faible que possèdent les sels qui ont une grande stabilité, comme les sulfates.

M. Graham appelle l'attention particulièrement sur les sels du groupe magnésien; les sels solubles de chaux, de baryte et de strontiane paraissent presque entièrement dépourvus de pouvoir osmotique. L'osmose est faible; tantôt elle est positive, tantôt négative. Ces sels sont neutres et ne manifestent aucune tendance à se transformer en sous-sels. Les sels des bases terreuses et ceux de magnésie se comportent de même.

Il fait observer que les sels d'autres oxydes, en exceptant les sulfates, possèdent un pouvoir osmotique considérable, tels que les sels de cuivre, de protoxyde de plomb, et de protoxyde d'étain. Ces derniers sont de tous les sels appartenant au groupe magnésien, ceux qui se dédoublent le plus facilement en acide libre et en un sous-sel; ils peuvent donc, à la façon des sels de sesquioxydes, déposer un élément basique à la face interne du diaphragme, et déterminer ainsi une osmose positive. M. Graham cite plusieurs faits à l'appui de cette théorie.

Les sels d'une neutralité complète et constante, tels que les chlorures de potassium et de sodium, les nitrates des mêmes bases et le nitrate d'argent, ne possèdent qu'un pouvoir osmotique faible ou peut-être même nul ; en les ajoutant aux sulfates magnésiens neutres et à certaines matières organiques, telles que le sucre ou l'alcool, ils en augmentent l'osmose, mais non d'une manière bien marquée.

Ces sels se diffusent, en général, quatre fois plus vite de leurs solutions aqueuses que de leurs solutions alcooliques ; on peut admettre que la diffusibilité de l'eau est quadruple de celle de l'alcool, ou, par suite, égale à 5 ou 6 fois celle du sucre ou du sulfate de magnésie : on peut donc admettre, que, par le seul fait de la diffusion : une partie de ces dernières substances doit être remplacée dans l'osmomètre par 5 ou 6 parties d'eau. Cette osmose, par diffusion, paraît varier d'une manière assez régulière, comme la proportion du sel dissous. Au contraire, l'osmose chimique se montre déjà très-considérable, lorsqu'on opère avec des solutions très-étendues, par exemple, des dissolutions de 1 pour cent,

et même de 0,1 pour cent; elle n'augmente que fort peu avec la proportion de substance dissoute.

Une petite quantité de sel marin ajoutée à une solution de carbonate de potasse peut diminuer beaucoup l'osmose positive de ce dernier, tandis qu'un mélange de sel marin et d'acide chlorhydrique, détermine une osmose considérable.

Les sels basiques de potasse, tels que le sulfate et l'oxalate, quoique neutres aux papiers à réactif, tendent à produire un commencement d'osmose positive : M. Graham attribue cette propriété à ce qu'ils sont aptes à se dédoubler en acide libre, et en sous-sel.

Il s'étend en outre sur la propriété singulière du sulfate de potasse :

L'osmose avec ce sel est très-faible quand il est parfaitement neutre et varie de grandeur avec la nature de la membrane ; l'addition d'une très-petite quantité d'acide la fait disparaître, ou même la rend négative, tandis qu'une petite quantité de carbonate de potasse détermine une osmose positive très-considérable. Il avoue que l'on ne connaît qu'imparfaitement les réactions chimiques que subit la membrane, et qu'ainsi on ne peut expliquer qu'imparfaitement la propriété singulière du sulfate de potasse.

Sous le point de vue physiologique, il dit que l'on pourrait craindre qu'une altération de la membrane ne pût se produire dans l'organisme sans de graves inconvénients ; mais il ajoute : il ne faut pas oublier que l'organisme animal ou végétal est le siége d'un mouvement continuel, d'une succession non interrompue de décompositions et de recompositions, et que, par suite, les altérations qui déterminent l'osmose

peuvent être rapidement réparées dans l'économie. Loin de là, les conditions qu'on rencontre dans l'organisme sont évidemment propres à favoriser l'osmose chimique. Nous savons, en effet, que celle-ci se manifeste surtout lorsque les liquides qui baignent les membranes sont des solutions salines faibles; tels sont les liquides de l'économie. Les réactions acides ou alcalines qu'ils possèdent ordinairement facilitent encore la production du phénomène.

M. Graham considère, en un mot, l'osmose comme la conversion de l'affinité en travail mécanique. Dans l'établissement des théories physiologiques, on est embarrassé quand il s'agit d'expliquer des mouvements vitaux par l'affinité chimique, et c'est dans les tissus criblés d'espaces cellulaires microscopiques que les mouvements produits par l'osmose, qui ne dépendent que de l'étendue de la surface de contact, devront se manifester avec le plus d'énergie.

On a coutume de rapporter à l'osmose l'ascension de la séve dans les végétaux. Les parois des cellules végétales peuvent être parfaitement comparées au diaphragme d'un osmomètre en calicot albuminé, car ces parois ligneuses sont enduites d'une couche de substance albuminoïde; si donc leur surface inférieure est baignée par un liquide tenant en solution un sel végétal, de bioxalate de potasse, par exemple, un courant d'osmose devra s'établir, qui déterminera l'ascension de l'eau dans le tissu de la plante.

§ II. — *De la dialyse.*

M. Dubrunfaut a appliqué à l'industrie l'observation de Dutrochet, relative à la sortie des sels dans l'exosmose ; il s'est exprimé en ces termes (*Comptes rendus*, t. XLI, 1855, p. 834) :

« Dès le mois d'avril 1853, et par conséquent à une époque antérieure aux travaux du docteur Graham sur l'osmose, nous avions eu la pensée de chercher à appliquer cette force pour opérer l'analyse de certains mélanges chimiques; à cette occasion, nous nous sommes occupé des moyens de mesurer l'intensité variable des deux courants variables qui se manifestent parallèlement dans les réactions osmotiques, et dont l'endosmose de Dutrochet n'est que la résultante. La méthode que nous avons suivie dans ces recherches, diffère peu de celle qui a été adoptée par M. Matteucci. Cette méthode, dont nous publierons plus tard les résultats détaillés, nous a démontré que nos prévisions étaient fondées et qu'il est possible, à l'aide de l'osmose, d'opérer la séparation plus ou moins complète de certains mélanges de sels ou d'autres substances chimiques qui sont solubles dans l'eau. C'est, au reste, un résultat auquel le docteur Graham est arrivé de son côté, quoique la publication qu'il en a faite soit postérieure à la nôtre qui date de 1854. »

« Nous avons fait une première application de ces observations à l'épuration des mélasses de betteraves à l'extraction de leur sucre; ces mélasses, comme on le sait, sont un mélange de sucre et sels organiques et inorganiques, parmi les-



quels se trouvent surtout le nitrate de potasse et le chlorure de potassium. »

« En plaçant dans l'endosmomètre de Dutrochet ces mélasses à leur densité normale, en présence de l'eau, il s'établit, conformément aux lois découvertes par Dutrochet, deux courants, dont l'un, très-énergique, marche de l'eau vers la mélasse, tandis que l'autre plus faible marche de la mélasse vers l'eau; ce dernier courant entraîne dans l'eau les sels organiques et inorganiques de la mélasse, en laissant dans l'endosmomètre le sucre dilué avec la matière colorante et une fraction de sels qui, dans une première opération, échappe à la réaction. La mélasse ainsi traitée a perdu sa mauvaise saveur; elle est devenue comestible à la manière de la mélasse de canne, et elle peut, en étant soumise aux opérations du raffinage, fournir des cristallisations de sucre. »

« Les eaux chargées de sels soumis à la concentration fournissent de belles cristallisations de nitre, de chlorure et des sels organiques qui ont besoin d'être examinés. »

Il y a loin de là à la dialyse et à ses applications; je vais exposer succinctement en quoi consistent les belles recherches de M. Graham sur cette branche nouvelle des sciences physico-chimiques (1). Toutes les substances ne possèdent pas le même pouvoir de diffusion comme on l'a vu précédemment; il y en a dont la vitesse est plus ou moins rapide, d'autres dont la vitesse est excessivement lente. Il a dû classer, à cet

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XLV, pag. 5, et t. LXV, p. 129.

effet, les substances quant à leur vitesse de diffusion. C'est ainsi qu'il est parvenu à montrer que l'hydrate de potasse possède une rapidité de diffusion double de celle du sulfate de potasse et que ce dernier se répand, dans les liquides, deux fois plus vite que le sucre, l'alcool et le sulfate de magnésie. Les substances dont la diffusion est exclusivement lente ont été appelées par lui colloïdes; parmi elles, on distingue la silice hydratée, l'alumine hydratée, d'autres oxydes analogues, l'amidon, la dextrine, le tannin, l'albumine, la gélatine, etc., etc. Ces corps se distinguent par l'apparence gélatineuse de leurs hydrates et une indifférence chimique pour les acides et les bases; c'est pour ce motif qu'il les a appelés colloïdes, et les autres, cristalloïdes.

M. Graham considère les colloïdes comme possédant une force vive qui est en quelque sorte la source probable des actions qui ont lieu dans les organes des corps vivants; il pense que l'on peut encore rapporter la série successive des modifications de ces corps (le temps étant un élément indispensable à la succession des phénomènes) à la lenteur caractéristique des réactions de la chimie organique.

Voici comment M. Graham effectue la dialyse, opération qui consiste à effectuer la séparation de deux substances au moyen de la diffusion : on introduit, à l'aide d'une pipette, avec précaution, les matières mélangées sous une colonne d'eau contenue dans un vase cylindrique en verre de 12 à 15 centimètres. La diffusion est abandonnée à elle-même pendant plusieurs jours, puis on enlève avec un syphon l'eau par couches successives, en commençant par la partie supérieure et on examine la composition de chaque couche,

afin de connaître le temps que chaque matière a mis à se diffuser pour arriver à une hauteur donnée.

Les colloïdes jouissent d'une propriété particulière que M. Graham a utilisée pour opérer la dialyse : la gelée d'amidon, celle des mucus animaux, de la pectine, substances insolubles dans l'eau froide, sont aussi perméables que l'eau, quand elles présentent une certaine masse, aux substances douées d'une grande diffusibilité, en même temps qu'elles résistent notablement au passage de celles qui sont peu diffusibles et s'opposent complétement à la pénétration des matières colloïdes analogues à elles-mêmes et dissoutes dans les liquides soumis à l'expérience. Elles se comportent à cet égard comme les membranes animales. Il suffit d'une couche mince de ces gelées pour produire cet effet; on peut se borner à prendre une feuille de papier à lettre très-mince et bien collé, n'ayant aucune porosité apparente, séparant l'eau de la dissolution.

M. Graham a préféré employer comme cloison séparatrice le parchemin végétal ou papier parchemin, papier sans colle qui est préparé par une courte immersion dans l'acide sulfurique étendu dans $\frac{1}{15}$ d'eau et lavé ensuite à grande eau pour enlever l'acide. Le papier ainsi modifié possède une ténacité considérable, il s'allonge quand il est humecté, devient translucide par suite de son hydratation. On peut l'appliquer quand il est humide sur un cercle de bois mince ou mieux encore sur un cercle de gutta-percha.

Avant de préparer ce papier, il faut avoir l'attention de s'assurer qu'il n'est pas poreux, auquel cas il faudrait le rejeter. On s'aperçoit de cette défectuosité en mouillant le papier sur une face avec une éponge : si l'on ne voit appa-

raître aucune tache d'humidité sur l'autre face, il est bon pour les expériences. On remédie à la défectuosité du papier en appliquant sur sa surface de l'albumine liquide qu'on fait ensuite coaguler sur place par la chaleur.

Je suis entré dans quelques détails sur les cloisons dialytiques, d'après M. Graham, parce que ce sont celles dont je fais usage dans mes expériences.

C'est à l'aide de la dialyse que M. Graham a purifié un grand nombre de substances colloïdes; on élimine ainsi les cristalloïdes, et les colloïdes restent purs. Il considère comme bien difficile de mieux séparer les sels des colloïdes par d'autres moyens. Il a obtenu ainsi de la silice et de l'albumine solubles, du peroxyde de fer également soluble, etc.

Je me borne à ces indications générales sur les belles recherches de M. Graham relatives à la diffusion et à la dialyse, qui complètent celles de Dutrochet sur l'endosmose et l'exosmose, cette dernière surtout étant le germe de la dialyse; recherches qui peuvent servir à répandre des lumières sur les faits dont il va être question dans la seconde partie de ce mémoire.

M. Graham tire les conclusions suivantes des nombreuses expériences qu'il a faites sur la diffusion et la dialyse.

Il pense que le mouvement de l'eau dans l'endosmose est le résultat d'une hydratation et d'une déshydratation de la membrane ou du diaphragme colloïdal; que la diffusion des solutions salines qui se trouvent dans l'endosmomètre, n'influe en rien sur les résultats de l'endosmose et qu'elle modifie seulement l'état du septum.

Il fait remarquer à ce sujet que l'endosmose est généralement très-active avec les membranes et autres cloisons forte-

ment hydratées, quand l'endosmomètre contient une solution de colloïde, comme le sucre, par exemple.

Le degré d'hydratation des corps gélatineux est fortement influencé par la nature du milieu ambiant, comme on l'observe avec la fibrine et les membranes animales. On trouve effectivement ces colloïdes bien plus facilement influencés avec l'eau pure qu'avec des solutions salines neutres. Ainsi les deux faces d'un diaphragme ne sont pas hydratées au même degré. La face extérieure, qui est en contact avec l'eau pure, s'hydrate plus que l'autre qui est en contact avec la solution saline. Aussitôt que l'eau d'hydratation de la première a traversé l'épaisseur du diaphragme, elle est arrêtée par la surface interne. Le degré d'hydratation s'abaisse et l'eau est abandonnée par la superficie de la membrane, ce qui constitue l'endosmose. On voit, d'après cette manière de voir, que le contact de la solution saline est accompagné d'une hydratation gélatineuse continue qui se résout en un composé moins hydraté et en eau libre. La surface interne de la cloison est contractée par l'action de la solution saline, tandis que la face opposée se dilate par son contact avec l'eau pure.

Je répète encore ici, d'après M. Graham, que l'avantage que présentent les solutions colloïdales pour l'endosmose doit être attribué en partie à leur faible diffusibilité et à leur incapacité de traverser les diaphragmes colloïdaux.

M. Graham considère le courant d'exosmose, comme un phénomène de diffusion ; ce n'est point la totalité du liquide interne qui sort, mais bien les particules de sel comme Dutrochet du reste l'avait remarqué ; l'eau de dissolution étant passive pendant l'action, l'endosmose paraît être due à un courant capable d'entraîner des masses. M. Graham

appelle osmose la force en vertu de laquelle l'eau est transportée au travers de la membrane, et force osmotique, celle inconnue qui occasionne le transport.

Il s'est demandé si l'osmose ne serait pas le résultat de la diffusion de l'eau dans la solution saline en admettant que la diffusion soit un double phénomène, l'eau étant un liquide éminemment diffusible; elle l'est quatre fois plus que l'alcool et 4 à 6 fois plus que les sels les plus diffusibles. M. Graham en conclut que pour une partie de certains sels qui sortent de l'osmomètre, il entre 5 à 6 parties d'eau, et que la faible ascension que l'on observe avec certaines dissolutions et plusieurs substances organiques est due à la faible diffusion des dissolutions de ces diverses substances. On lui doit un grand nombre d'expériences destinées à mettre en évidence la cause à l'aide de laquelle il explique l'osmose.

§ III. — *Reproduction de substances minérales et formation de composés insolubles cristallisés.*

Je dois rappeler encore, ici, les essais qui ont été faits pour la formation de substances insolubles cristallisées au moyen de l'endosmose ou des infiltrations.

Dans mes expériences électro-chimiques faites à l'aide d'un tube en U ou d'un tube et d'une éprouvette, en mettant au fond du premier du kaolin ou fermant le tube avec la même substance, puis, plaçant un liquide différent dans chacune des branches du tube et complétant le circuit voltaïque avec un arc composé de deux métaux différents, j'ai vu se former, indépendamment des produits dus à l'ac-

tion électro-chimique, un grand nombre de substances insolubles cristallisées par suite du suintement très-lent des deux liquides au travers du kaolin et de leur réaction réciproque.

Je suis parti de ce mode d'action pour faire absorber par des corps poreux diverses solutions, corps que l'on plongeait ensuite dans d'autres solutions, dont la réaction sur les premières produisait des composés insolubles cristallisés; j'obtenais ainsi, en général, des doubles combinaisons.

Dans ces expériences, je commençai à entrevoir le rôle que pouvait jouer dans les réactions ayant lieu dans les pores des corps, l'influence des parois qui a été mise ensuite en évidence dans les phénomènes électro-capillaires dont j'ai déjà entretenu l'Académie dans mes précédents mémoires.

M. Payen, dans un travail sur les incrustations minérales des végétaux, avait signalé dans ces derniers la production d'oxalate de chaux cristallisé ; M. Chevreul avait admis, pour expliquer cette formation, qu'une oxalate soluble, traversant lentement les parois d'une cellule végétale ou d'un vaisseau, pouvait, en réagissant sur un sel calcaire qui se trouvait dans une cavité, donner naissance à l'oxalate de chaux cristallisé.

M. Frémy, dans une note présentée à l'Académie en 1866 (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. LXIII, p. 714), a fait connaître un mode général de cristallisation des composés insolubles, en séparant par un diaphragme, plus ou moins épais et poreux, deux solutions donnant lieu par leur réaction à ces composés. Son but était de retarder autant que possible cette réaction, comme je l'avais fait dans mes expériences, afin que la précipitation étant très-lente, la cristallisation pût s'effectuer. Comme il est question de produits chimiques formés par l'intermédiaire

d'une cloison poreuse, je dois en parler ici, et faire connaître les résultats généraux obtenus.

M. Frémy avait recours quelquefois à des phénomènes d'endosmose, afin de rapprocher lentement, au moyen d'une membrane, les deux liquides qui devaient se décomposer mutuellement; il employait aussi avec succès, comme diaphragme, des vases en bois ou en porcelaine dégourdie.

Il a obtenu ainsi cristallisés les sulfates de baryte et de strontiane, les carbonates de baryte et de plomb; mais il n'a pas indiqué les solutions avec lesquelles il a obtenu ces résultats. En introduisant des silicates alcalins dans des vases de bois ou de porcelaine dégourdie et les exposant à l'action lente de certains acides et même de l'acide carbonique pendant plusieurs mois, il a obtenu des masses cristallisées, blanches et assez dures pour rayer le verre. D'après l'analyse qui en a été faite, ce dépôt était formé d'un hydrate de silice.

On voit par ce qui précède que M. Frémy s'est occupé de la cristallisation des composés insolubles en vertu d'actions lentes, sous l'influence de corps poreux plus ou moins épais.

DEUXIÈME PARTIE.

THÉORIE GÉNÉRALE DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES COMPRENANT L'ENDOSMOSE ET L'EXOSMOSE.

CHAPITRE PREMIER.

PRINCIPES GÉNÉRAUX.

---

§ I. — *Effets électriques produits dans le frottement ou le contact des liquides.*

Les phénomènes électro-capillaires, envisagés sous le point de vue le plus général, comprennent l'endosmose, la diffusion et jusqu'à un certain point la dialyse; ces trois ordres de phénomènes dépendent, comme les premiers, des affinités des substances en présence, de la diffusion des solutions et de l'hydratation des membranes, de l'électricité dégagée dans les espaces capillaires, dans la réaction de ces substances, laquelle agit comme force chimique et comme force physique.

Il ne faut pas oublier, pour concevoir l'intervention de l'action électrique, que tout travail moléculaire est accompagné d'un dégagement d'électricité et réciproquement que toute électricité devenue libre peut être transformée en un travail équivalent mécanique, physique ou chimique. On ne doit pas être étonné, d'après cela, que l'électricité intervienne dans la production d'un grand nombre de phénomènes de la nature

organique et de la nature inorganique, dans lesquels les conditions nécessaires pour le dégagement de l'électricité et la transformation de cet agent en force physique ou chimique sont remplies.

Je me bornerai à rappeler, comme exemple d'effets mécaniques produits par l'électricité, l'expérience de Porret sur laquelle j'aurai l'occasion de revenir dans le cours de ce mémoire. Voici en quoi consiste le fait observé par ce physicien : Quand on décompose, à l'aide de la pile, l'eau ou une solution peu conductrice, contenue dans un vase partagé en deux compartiments, par une cloison poreuse, au moyen de deux lames de platine en rapport avec les deux pôles de la pile, le niveau de l'eau s'élève dans le compartiment où se trouve la lame négative, effet qui ne peut avoir lieu qu'en admettant que le liquide est transporté par le courant allant de la lame positive à la lame négative, au travers de la cloison. A mesure que le liquide devient meilleur conducteur, la différence de niveau diminue. La force électrique, agissant comme mécanique, se transforme alors en force chimique.

Je rappellerai encore, comme se rapportant à mon sujet, l'expérience de M. Quincke, à l'aide de laquelle il a mis en évidence les effets électriques produits dans le mouvement des liquides, au travers d'une cloison, à l'aide d'un galvanomètre de 25 à 30 mille tours : ayant pris deux tubes fermés par un bout, placés horizontalement et joints ensemble, par les bouts ouverts, à une plaque d'argile cuite, il a rempli d'eau ces tubes, au moyen de deux tubulures latérales, de manière que le niveau du liquide ne fût pas le même dans les deux tubulures; deux lames de platine plongeaient dans ces liquides.

La différence de niveau occasionnait un écoulement de l'un d'eux au travers du diaphragme, lequel écoulement donnait lieu à un courant électrique dirigé dans le même sens, qui s'arrêtait aussitôt que le niveau de l'eau était rétabli ; le phénomène avait lieu, quelle que fût la nature de la cloison poreuse. Le courant électrique devenait moins fort, en ajoutant à l'eau un acide, un alcali ou un sel ; ainsi en rendant l'eau plus conductrice, le courant diminuait peu à peu et finissait par disparaître ; dans ce cas il y avait alors probablement action chimique et par conséquent transformation de force.

Quand le courant liquide s'arrêtait, le courant électrique cessait, mais il s'en produisait un autre en sens inverse, provenant de la polarisation des lames.

La quantité d'eau transportée et l'intensité du courant étaient proportionnelles à la différence de niveau et par suite à la pression qui produisait l'écoulement de l'eau. M. Quincke a trouvé que la force électromotrice était assez grande, et que la très-faible intensité du courant provenait de la mauvaise conductibilité de l'eau distillée.

Or, comme la réaction est égale à l'action, on peut admettre que, par suite de la transformation des forces, l'électricité, devenue libre dans certaines conditions, peut imprimer un mouvement au liquide, et concourir à la formation de l'endosmose : opinion que j'ai émise en 1836, dans mon *Traité d'électricité et de magnétisme*, t. X, et que les expériences suivantes mettront en évidence.

Fusinieri, dans des expériences faites de 1821 à 1825 (*Journal de Pavie*), a observé que, lorsqu'une décharge électrique éclate entre une boule d'argent et une boule de cuivre, il y a réciprocité d'action, c'est-à-dire qu'il y a

transport de l'argent sur le cuivre d'une part, et du cuivre sur l'argent, de l'autre; ainsi, il peut y avoir aussi bien transport d'un liquide du pôle positif au pôle négatif, que du pôle négatif au pôle positif; mais, si dans l'expérience de Porret les effets du double courant mécanique ne sont pas sensibles, cela tient probablement à ce que l'on n'observe qu'une différence dans les effets produits, la nature du liquide étant la même à chaque pôle.

Or, des courants électro-capillaires se produisant toujours, quand deux liquides différents sont séparés par un espace capillaire tel qu'en présente une membrane, il était naturel de rechercher jusqu'à quel point ces courants intervenaient dans la production de l'endosmose, de l'exosmose et de la dialyse avec le concours des causes indiquées par MM. Dutrochet, Liebig et Graham.

Rappelons d'abord les trois principes généraux qui régissent le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques tels que je les avais formulés (*Annales de physique et de chimie*, t. XXXV, p. 113).

1° Dans la combinaison des acides avec les alcalis, les premiers dégagent de l'électricité positive, les seconds de l'électricité négative. Il en est de même encore dans la réaction de deux solutions, dont l'une joue le rôle d'acide par rapport à l'autre et dans celle d'un acide sur un métal, l'acide rendant toujours libre de l'électricité positive.

2° Dans la réaction d'un acide sur l'eau, celle-ci se comporte comme base et dégage de l'électricité négative; dans la réaction d'un alcali sur l'eau, les effets électriques sont inverses, c'est-à-dire que l'eau joue le rôle d'acide et l'alcali celui de base.

3° Dans les décompositions chimiques les effets électriques sont inverses, c'est-à-dire que l'acide rend libre de l'électricité négative et la base de l'électricité positive.

Avec la plupart des solutions neutres et concentrées, les effets éléctriques de contact sont quelquefois si faibles, qu'il ne m'avait pas été possible, avec les appareils dont je disposais au commencement de mes recherches, de voir s'ils avaient également lieu. Il n'en est plus de même aujourd'hui, où l'on dispose de galvanomètres d'une très-grande sensibilité.

Parmi les résultats que j'obtins alors, et qu'il était très-facile d'observer en raison de l'intensité du courant, je rapporterai les suivants qui sont relatifs au contact des principaux acides.

L'acide nitrique est positif et joue le rôle d'acide à l'égard de....................	l'acide chlorhydrique. l'acide acétique. l'acide nitreux.
L'acide nitrique est négatif et joue le rôle de base à l'égard de	l'acide sulfurique. l'acide phosphorique.
L'acide phosporique est positif à l'égard de..	l'acide chlorhydrique. l'acide sulfurique.

On voit que l'acide nitrique se comporte comme acide à l'égard des acides les plus faibles, et agit comme base à l'égard des acides les plus forts. L'acide phosphorique est donc le plus électro-négatif des acides soumis à l'expérience.

Quant aux solutions neutres et concentrées, ou non concentrées, quand le contact est suivi ou non d'un précipité,

il faut employer, comme on vient de le dire, un galvanomètre doué de beaucoup de sensibilité, et prendre les plus grandes précautions pour dépolariser les lames de platine destinées à recueillir les électricités dégagées, afin d'éviter des effets qui seraient autant de causes d'erreurs. On opère en conséquence comme il suit :

On prend un certain nombre de petites lames de platine, à chacune desquelles est fixé un fil de même métal, on en forme douze paires destinées à agir toujours par couple; chaque couple est traité d'abord à chaud par l'acide nitrique, puis lavé à l'eau distillé, chauffé au rouge, lavé et plongé pendant 24 heures dans l'eau distillée contenue dans un petit vase spécial, pour chaque couple. On essaye ensuite chacun d'eux au galvanomètre, avant d'expérimenter, afin de s'assurer si les deux lames de chaque couple sont parfaitement dépolarisées; dans le cas contraire, on les soumet de nouveau au traitement dont on vient de parler, en y comprenant les fils auxquels les lames sont fixées, dans la crainte qu'ils ne touchent aux liquides. A chaque expérience, il faut changer de place les lames, après les avoir bien lavées et chauffées au rouge, afin de voir si les courants électriques sont dirigés dans le même sens; ainsi de suite. Chaque couple de lames ne peut servir que deux ou trois fois, attendu qu'elles finissent par se polariser de nouveau, même quand le courant est très-faible; il faut alors les soumettre de nouveau au traitement primitif.

Ces précautions étant prises, on a cherché les effets électriques produits au contact de l'eau et de certaines solutions neutres et concentrées. On a pris deux capsules de porcelaine, contenant, l'une, une solution, l'autre, de l'eau distillée, et dans

chacune desquelles on a plongé une des lames de platine dépolarisées ; ces deux liquides communiquaient ensemble au moyen d'une bande de papier à filtrer, d'une mèche de coton ou d'asbeste, lavée avec soin. On a obtenu les résultats suivants :

	Solutions.	États électriques.
L'eau se comporte comme un acide à l'égard d'une solution neutre de sulfate à base alcaline ou terreuse................	Solution de sulfate de potasse...	—
	Eau distillée.................	+
	Solution de sulfate de magnésie.	—
	Eau distillée.................	+
	Solution de sulfate de soude....	—
	Eau distillée.................	+
L'eau se comporte comme un alcali à l'égard des solutions de chlorures..................	Chlorure de barium...........	+
	Eau distillée.................	—
	Chlorure de potassium.........	+
	Eau distillée.................	—
	Chlorure de sodium...........	+
	Eau distillée.................	—
	Chlorure de magnésie..........	+
	Eau distillée.................	—
	Chlorure de calcium...........	+
	Eau distillée.................	—

En variant les proportions de chlorure de sodium, dans l'eau salée, les effets électriques ont eu lieu dans le même sens. Dans cette série d'expériences, les effets électriques sont inverses de ceux que donnent les sulfates.

Avec les nitrates on a eu :

	Solutions.	États électriques.
L'eau se comporte comme un acide par rapport aux solutions de nitrates	Nitrate de potasse	—
	Eau distillée	+
	Nitrate de soude	—
	Eau distillée	+
	Nitrate de baryte	—
	Eau distillée	+
	Nitrate de strontiane	—
	Eau distillée	+
	Nitrate de magnésie	—
	Eau distillée	+
	Nitrate d'ammoniaque	—
	Eau distillée	+
	Nitrate de chaux	—
	Eau distillée	+
	Iodure de potassium	+
	Eau distillée	—

Les nitrates se comportent donc, relativement à l'eau, comme les sulfates, c'est-à-dire que l'eau est positive quand les solutions sont parfaitement neutres, et joue par conséquent le rôle d'acide, relativement aux solutions salines. Ces résultats montrent que les solutions de sels neutres en contact donnent lieu, pendant leur diffusion réciproque, à des effets électriques tels, que les sulfates et les nitrates alcalins et terreux, sont soumis à la même loi, l'eau étant toujours positive, par rapport à la solution, tandis qu'avec les chlorures elle est négative.

D'où peut donc provenir cette différence entre les oxysels et les haloïdes? Est-elle due à une action mécanique, résultant d'un travail moléculaire, ou bien à une action chimique qu'il

est bien difficile d'apercevoir dans le mélange de la solution avec l'eau? Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'il y a une action moléculaire produite, quelle qu'elle soit.

Comment expliquer aussi les effets électriques produits au contact de l'eau distillée et d'une solution neutre et concentrée? Ce contact est évidemment suivi d'une diffusion et par conséquent d'un travail moléculaire analogue à celui qui est produit pendant l'écoulement d'un liquide dans l'expérience de M. Quincke, travail qui s'effectue entre les molécules du sel déjà dissous et l'eau dans laquelle il se diffuse, effet qui doit avoir lieu d'après le principe établi aujourd'hui, que tout ce qui tend à troubler l'équilibre naturel des molécules, trouble également celui des forces électriques et réciproquement; les molécules de l'eau doivent prendre une électricité et les molécules salines, et par suite la solution à laquelle elles sont associées, l'autre électricité. Ces effets sont indépendants de ceux qui pourraient résulter d'une action chimique entre un des éléments de l'eau transportée et ceux du sel, action qu'il est bien difficile de constater, dans un mélange, quand les effets chimiques ne sont pas appréciables par les moyens connus.

Quant aux effets électriques inverses que présentent les chlorures et peut-être d'autres sels analogues, il est difficile aussi, nous le répétons, d'en donner maintenant une explication satisfaisante; attendons de nouvelles expériences pour avoir une opinion arrêtée à cet égard.

Passons aux effets électriques produits au contact de deux solutions différentes neutres et saturées, en employant le même mode d'expérimentation, et répétant l'expérience, comme on l'a dit précédemment, en changeant de place les

lames de platine, et les dépolarisant chaque fois, afin qu'il ne reste aucun doute sur l'exactitude des résultats.

Nous prendrons indistinctement des sels qui forment des combinaisons solubles ou insolubles par leur réaction. Ces résultats sont importants à connaître, ainsi que ceux relatifs à d'autres solutions, pour montrer quelle peut être l'intervention des forces électriques dans les effets d'endosmose et de dialyse, si bien analysés par M. Graham, mais n'oublions pas que ce dernier appelle osmose ce que Dutrochet a nommé *endosmose* et *exosmose*. On peut considérer les effets électriques dont on va parler comme provenant de la diffusion des liquides :

Solutions.	États électriques.	
Sulfate de potasse	+	
— de magnésie	—	
Sulfate de potasse	+	
Nitrate de chaux	—	
Sulfate de potasse	+	Peu concentré.
Chlorure de calcium	—	
Sulfate de potasse	—	?
— d'ammoniaque	+	
Sulfate de potasse	—	
Chlorure de potassium	+	
Sulfate de soude	—	
Chlorure de barium	+	
Sulfate de potasse	—	
Phosphate d'ammoniaque	+	
Sulfate de potasse	—	
Nitrate de magnésie	+	

Solutions.	États électriques.
Sulfate de soude	+
— de potasse	—
Sulfate de potasse	+
Nitrate de chaux	—
Nitrate de zinc	+
Bicarbonate de soude	—
Nitrate de potasse	+
— de chaux	—
Sulfate d'alumine	+
— de potasse	—
Sulfate d'alumine	+
— d'ammoniaque	—
Sulfate d'alumine	+
— de chrome	—
Sulfate d'alumine	+
— de sexquioxyde de fer	—

Ces résultats montrent que la solution du sulfate de potasse est positive à l'égard des solutions de sulfate de magnésie, de nitrate de chaux, de chlorure de calcium, de sulfate d'ammoniaque, de phosphate d'ammoniaque et de nitrate de chaux, tandis qu'elle est négative par rapport au sulfate d'ammmoniaque, au chlorure de potassium, au nitrate de magnésie, au sulfate de soude, au phosphate d'ammoniaque; mais pour peu que la neutralité de ces sels ne soit pas parfaite, les effets électriques se compliquent de ceux qui résultent de la réaction de l'excès d'acide ou d'alcali sur l'eau, lequel excès tend à donner à celle-ci l'électricité négative ou l'électricité positive.

On voit encore que, dans les doubles décompositions, suivies d'un précipité, contrairement à ce que nous avions remarqué anciennement, alors que les appareils n'avaient pas la sensibilité qu'ils ont acquise depuis, il y a également production d'électricité, notamment au contact de la solution de sulfate de soude ou de potasse avec le chlorure de barium. Je reviendrai, dans la troisième partie, sur cette production qui donne lieu à des effets remarquables.

§ II. — *Des courants électro-capillaires.*

Il est nécessaire encore de rappeler les principes généraux auxquels sont dus les phénomènes électro-capillaires.

1er *principe* : Lorsqu'un tube fêlé, rempli d'une dissolution métallique, de sulfate de cuivre, par exemple, plonge dans une dissolution de monosulfure de sodium, le métal est réduit, et se dépose dans la fissure et sur les parties contiguës de la paroi intérieure du tube.

Avec un arc métallique de platine ou d'un métal inoxydable, dont les deux bouts plongent chacun dans l'une des deux dissolutions, la précipitation du cuivre n'a plus lieu de la même manière : le métal se dépose sur le bout plongé dans la dissolution métallique, qui devient alors le pôle négatif.

Les parois humides de la fissure conduisent donc l'électricité comme un corps conducteur solide, mais à un moindre degré que le platine qui est cependant un des plus mauvais conducteurs de l'électricité parmi les métaux.

2° Dans un tube fermé avec un tampon de papier, traversé

par une tige de charbon et contenant une dissolution métallique, puis plongeant dans une solution de monosulfure de sodium, le tampon avec cette tige se comportent comme les parois des fissures. En remplaçant le tampon par du sable très-fin, on a les mêmes effets que dans les fêlures d'un tube.

3° Dans une ouverture capillaire, les parois mouillées par un des deux liquides sont conductrices de l'électricité, le courant résultant de la réaction de ces deux liquides va, en suivant ces parois, du liquide positif au liquide négatif et revient par les liquides dans un sens opposé. La paroi intérieure du tube, près de la fissure, est alors le pôle négatif, et la paroi extérieure du tube le pôle positif

D'après l'expérience de Porret il doit y avoir transport par l'électricité du liquide négatif au liquide positif.

Le transport électrique, comme on sait, est, toutes choses égales d'ailleurs, en raison directe de l'intensité du courant et en raison inverse du pouvoir conducteur, tant de la cloison que du liquide. Il est en outre en raison inverse de la section ou des espaces capillaires à égalité d'intensité électrique.

Aussi, à égalité d'action, les liquides organiques doivent s'élever plus que les autres.

Les liquides qui produisent des actions énergiques devraient également s'élever davantage, mais en raison des différences indiquées ci-dessus, l'effet est complexe.

Un arc en platine extérieur, permettant la circulation de l'électricité, ne paraît pas augmenter ou diminuer l'élévation du liquide.

D'un autre côté, on se demande si, lorsque l'action chimique produit une réduction ou une précipitation, le

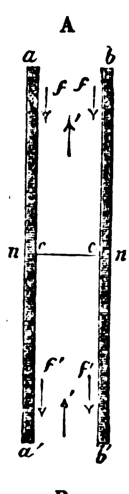
transport est aussi énergique. Nous examinerons plus loin cette question.

L'étude complexe des phénomènes d'endosmose, de diffusion et de dialyse, produits entre deux liquides différents séparés par une membrane d'origine organique ou une cloison en terre cuite, exige, quand on veut connaître leur relation avec les actions électro-capillaires, que l'on commence par rechercher les effets électriques qui se manifestent au contact des liquides, lorsqu'ils sont seulement superposés, en suivant la marche qui a été indiquée précédemment; dans ce cas, il y a simplement diffusion ; mais le dégagement d'électricité n'est pas suivi d'un courant, attendu qu'il y a absence de corps conducteurs solides ou d'une cloison poreuse pour opérer la recomposition incessante des deux électricités, à moins de faire intervenir les parois des vases.

On se sert à cet effet d'un tube en U dans lequel on commence par introduire une certaine quantité du liquide le plus dense, puis l'on verse doucement dans l'une des branches, au moyen d'une pipette, l'autre liquide afin qu'ils ne puissent se mêler immédiatement. En plongeant dans chaque liquide une lame de platine parfaitement dépolarisée et en relation avec le galvanomètre à 25000 tours, on reconnaît alors la production des effets électriques résultant du contact de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre; effets qui sont plus ou moins marqués, suivant leur conductibilité électrique et leur degré d'affinité.

En opérant avec une cloison poreuse, les effets électriques ont lieu dans le même sens, mais il en résulte des effets électro-chimiques, parce qu'il y a production de courant ; on peut concevoir comme il suit ce qui se passe dans ce cas-là.

Soit $a a' b b'$ un des pores d'une cloison quelconque, qui sépare deux liquides A et B, dont le premier est positif, l'autre négatif, dans leur contact mutuel; $c c'$ la ligne de séparation des deux liquides; $a a'$ $b b'$, les deux parois qui servent à la recomposition des deux électricités dégagées; de sorte que le courant suit la direction des flèches ff, ff le long de ces parois; le courant revient ensuite en sens inverse, en traversant les deux liquides, suivant la direction $f'f'$. Ces portions $a c$, $b c$ des deux parois prennent l'électricité positive, et les portions $c a'$ et $c b'$ l'électricité négative. Les premières portions représentent évidemment les pôles négatifs, les autres inférieures les pôles positifs. Voilà, comment il faut concevoir la distribution des pôles dans les espaces capillaires.



Le liquide A étant une dissolution métallique, le liquide B une dissolution de monosulfure, $a c$ et $b c$ se recouvrent de métal, comme je l'ai démontré dans mes précédents mémoires sur les phénomènes électro-capillaires; les bouts $a' c$, $b' c$ reçoivent l'oxygène qui réagit sur les éléments du monosulfure, en sorte qu'il n'y a pas de polarisation, ce qui donne une énergie d'autant plus grande à l'action électro-chimique que la distance parcourue par le courant étant très-petite, la résistance à la conductibilité est d'autant moindre. Il n'en est pas toujours de même avec l'arc de platine, surtout quand la force électro-motrice au contact des deux liquides est faible, en raison des effets qui ont lieu aux changements de conducteurs, lesquels n'ont pas lieu probablement au même degré dans les espaces capillaires. On doit donc con-

sidérer une membrane ou une cloison poreuse comme un corps solide criblé d'une infinité de pores, dont les parois sont conductrices de l'électricité, et dans lesquels s'opèrent les réactions électro-chimiques, dont les produits finissent souvent par les obstruer, à tel point qu'ils brisent les cloisons, de même que les tubes fêlés, quand ils ne sont pas cerclés avec un fil très-fort, en sont souvent des exemples.

Les courants électriques produits au contact de deux liquides différents, dans les espaces capillaires ou pores physiques, tels que ceux que présentent les membranes organiques, les tubes fêlés, etc., etc., par l'intermédiaire de leurs parois qui deviennent conductrices une fois qu'elles sont mouillées, ces courants, dis-je, peuvent être très-intenses, à cause de l'extrême proximité des sources d'électricité et des conducteurs qui servent à la recomposition des deux électricités, de sorte que la perte au passage devient très-faible.

On a une preuve des effets chimiques, puissants, qui ont lieu, en se rappelant les expériences que j'ai faites pour montrer la réduction du cobalt et du nickel dans un tube fermé par en bas, avec un tampon traversé par un fil de platine, contenant une de leurs dissolutions et plongeant dans une solution de monosulfure de sodium. Dans ces expériences, on voit que les effets de réduction les plus énergiques ont lieu au contact des deux liquides et près de ce contact et de celui du fil de platine. Dans ce mode d'expérimentation, plus la conductibilité des liquides est grande, plus les courants dérivés agissent loin des points de contact, et plus la réduction métallique s'éloigne de ces points; il suit de là que, lorsque les liquides soumis à l'expérience sont de mauvais conducteurs, plus l'action chimique

tend à se concentrer dans les espaces capillaires, plus on éprouve de difficulté à obtenir des courants dérivés sensibles au galvanomètre, à l'aide de deux lames de platine en rapport avec cet instrument, et plongeant chacune dans un des deux liquides; il peut même se faire que ces courants cessent de se manifester au galvanomètre.

Dans le chapitre suivant, j'examinerai les effets d'endosmose et de dialyse qui ont lieu entre deux liquides séparés par une cloison, alors que de leur réaction résulte un précipité cristallisé ou non cristallisé; nous verrons quels sont les rapports qui peuvent exister entre ces phénomènes et les effets électriques produits au contact des solutions.

CHAPITRE II.

DES PHÉNOMÈNES D'ENDOSMOSE, D'EXOSMOSE ET DE DIALYSE, ENVISAGÉS DANS LEURS RAPPORTS AVEC LES EFFETS ÉLECTRO-CAPILLAIRES.

---

§ I. — *Des cloisons employées dans l'étude des rapports entre les phénomènes d'endosmose, d'exosmose et de dialyse, et les effets électro-capillaires.*

Dans la théorie que Dutrochet a donnée des phénomènes d'endosmose et d'exosmose, il a posé en principe que, lorsque deux liquides hétérogènes, pouvant se mêler ensemble, sont séparés par une cloison à pores capillaires, ils marchent irrégulièrement l'un vers l'autre en la traversant; le courant le plus fort est celui d'endosmose, le courant le moins fort celui d'exosmose. Le premier transporte en général le dissolvant, le second les sels dissous. La dialyse n'est donc autre que l'exosmose dans lequel M. Graham a montré que les colloïdes étaient arrêtés par la membrane. Dutrochet a fait usage de vessie ou autre membrane animale ou végé-

tale, comme cloison poreuse, et rarement de diaphragme en terre cuite, qui ne produit pas des effets aussi prompts. Je reviendrai dans la troisième partie de ce mémoire sur les cloisons poreuses, en général.

M. Graham a pris pour cloison le papier parchemin préparé avec l'acide sulfurique contenant une petite quantité d'eau, pour ses recherches sur la dialyse, substance qui n'est pas aussi altérable par les liquides acides et alcalins que les membranes organiques : cette cloison est effectivement excellente et doit être préférée à toute autre.

J'ai employé, dans mes expériences, indépendamment de ces cloisons, la baudruche, les tubes fêlés et le sable fin, qui m'ont servi dans l'étude que j'ai faite de la réduction des métaux, en vertu des actions électro-capillaires.

Ces diverses cloisons jouissent de propriétés qui leur sont communes, et d'autres qui sont spéciales à chacune d'elles, et qu'il importe de connaître pour l'interprétation des phénomènes.

Les propriétés générales de ces cloisons dépendent de la grandeur des pores, de leur inégalité, de l'altérabilité de la substance dont elles sont formées, laquelle, en détruisant les parois, augmente l'étendue des espaces capillaires jusqu'au point d'anéantir l'endosmose et la dialyse ou au moins de les modifier profondément.

Dans toutes les expériences, j'ai soin d'indiquer la nature de la cloison employée, afin de mettre en évidence son influence sur le phénomène produit; il est nécessaire de répéter plusieurs fois la même expérience, afin d'être bien certain des résultats qui varient suivant le défaut plus ou moins grand d'homogénéité des cloisons.

Indépendamment des effets d'endosmose, de diffusion et de dialyse, il se forme encore souvent au contact des deux liquides des précipités solides résultant d'une double décomposition, et qui doivent être pris en considération dans l'étude de ces effets, précipités qui ne se sont jamais présentés dans les expériences de Dutrochet et dans celles de M. Liebig et de M. Graham, qui n'ont mis en présence en général que des liquides divers et de l'eau, dont ils avaient besoin pour mettre en évidence les principes dont ils ont enrichi les sciences physico-chimiques.

§ II. — *Des effets d'endosmose et d'électricité produits simultanément entre deux liquides séparés par une membrane poreuse.*

J'ai réuni dans les deux tableaux suivants les résultats des nombreuses expériences que j'ai faites dans le but de rechercher les rapports existant entre la direction de l'endosmose et celle du courant électrique concomitant.

Le premier a été formé avec les résultats obtenus par M. Graham dans ses intéressantes recherches osmométriques, et à côté desquels j'ai indiqué l'état électrique de la solution, celle de l'eau étant de signe contraire.

Le deuxième contient tous les résultats que j'ai recueillis en mettant en présence deux solutions de nature quelconque, conductrices de l'électricité, séparées par une cloison poreuse, en indiquant les états électriques de chacune d'elles ainsi que les effets chimiques produits, la direction de l'endosmose et celle du courant électrique concomitant.

Tableau du pouvoir osmotique formé par M. Graham d'un certain nombre de liquides en contact avec l'eau distillée par l'intermédiaire du papier parchemin et de la direction du courant électrique, déterminée par M. Becquerel.

PREMIER TABLEAU.

Le signe — dans la 2e colonne indique que l'osmose est au-dessous de la cloison séparatrice, et le signe + que l'osmose est au-dessus, tandis que dans la 3e colonne, ces signes indiquent les états électriques.

LIQUIDE EN CONTACT avec l'eau distillée.	FORCE de l'osmose, trouvée par M. Graham.	ÉTAT ÉLECTRIQUE de la solution, celui de l'eau étant de signe contraire, trouvé par M. Becquerel.	DIRECTION de l'osmose.	OBSERVATIONS.
Acide oxalique	mm. — 148	+	De l'acide à l'eau.	
— chlorhydrique, 0,1 p. 100	— 92	+	— à l'eau.	Les acides sulfurique, chlorhydrique, tartrique, citrique et oxalique, donnent des effets inverses selon leur densité.
Trichlorure d'or	— 54	+	— à l'eau.	
Bichlorure d'étain	— 46	+	— à l'eau.	
— de platine	— 30	+	— à l'eau.	
Nitrate de magnésie	— 22	—	Du sel à l'eau.	
Chlorure de magnésium	— 2	+	Du sel à l'eau.	L'acide chlorhydrique, le plus puissant pour aller de l'eau à l'acide, doit être très-affaibli pour donner l'osmose négatif.
— de sodium	+ 12	+	De l'eau au sel.	
— de potassium	+ 18	+	De l'eau au sel.	
Nitrate de soude	+ 14	+	De l'eau au sel.	
— d'argent	+ 34	+	De l'eau au sel.	
Sulfate de potasse	+ 21 à 6	—	Du sel à l'eau.	L'endosmose va du pôle négatif au pôle positif.
— de magnésie	+ 14	—	Du sel à l'eau.	
Chlorure de calcium	+ 20	+	De l'eau au sel.	
— de barium	+ 21	+	De l'eau au sel.	
— de strontium	+ 26	+	De l'eau au sel.	
— de cobalt	+ 26	+	De l'eau au sel.	
— de manganèse	+ 34	+	De l'eau au sel.	
— de zinc	+ 45	+	De l'eau au sel.	
— de nickel	+ 48	+	De l'eau au sel.	
Nitrate de plomb	+ 204	+	De l'eau au sel.	
— de cadmium	+ 137	+	De l'eau au sel.	Dans tous ces couples l'endosmose va du pôle positif au pôle négatif.
— d'urane	+ 458	+	De l'eau au sel.	
— de cuivre	+ 204	+	De l'eau au sel.	
Chlorure de cuivre	+ 351	+	De l'eau au sel.	
Protochlorure d'étain	+ 289	+	De l'eau au sel.	
— de fer	+ 435	+	De l'eau au sel.	
Bichlorure de mercure	+ 121	+	De l'eau au sel.	
Nitrate mercureux	+ 450	+	De l'eau au sel.	
— mercurique	+ 476	+	De l'eau au sel.	
Acétate de sesquioxyde de fer	+ 194	+	De l'eau au sel.	
— d'alumine	+ 393	+	De l'eau au sel.	
Chlorure d'aluminium	+ 540	+	De l'eau au sel.	Courant du pôle + au pôle —
Phosphate de soude	+ 311	+	De l'eau au sel.	
Carbonate de potasse	+ 439	— courant du sel à l'eau		

SECOND

DISSOLUTION placée dans le tube fêlé, ou le vase cloisonné, avec son état électrique.	DISSOLUTION introduite dans l'éprouvette, avec son état électrique.	NATURE de la cloison.	PRODUIT formé dans le tube.
Nº 1. Nitrate de cuivre saturé +	Oxalate de potasse saturé —	Papier parchemin.	Nitrate de potasse.
Nº 2. Nitrate de cuivre saturé +	Oxalate de potasse saturé —	Terre cuite.	Nitrate de potasse.
Nº 3. Nitrate de cuivre saturé +	Oxalate de potasse à 2° aréométrique.	Papier parchemin.	Nitrate de potasse.
Nº 4. Nitrate de cuivre à 2° aréométriques +	Oxalate saturé —	Papier parchemin.	Dépôt bleu sur la face du papier en contact avec le nitrate.
Nº 5. Sulfate de cuivre saturé +	Oxalate de potasse à 2° —	Papier parchemin.	Sulfate de soude et double oxalate sur la face du papier.
Nº 6. Sulfate de cuivre saturé +	Oxalate de potasse à 2° —	Papier parchemin.	Double oxalate sur la face du papier et sulfate de potasse.
Nº 7. Nitrate de cuivre saturé +	Phosphate de soude saturé —	Papier parchemin.	Nitrate de soude.
Nº 8. Nitrate de cuivre à 18° aréométriques +	Silicate de potasse à 10°.	Papier parchemin.	Sur la face intérieure, silicate bleu de cuivre en très-petits cristaux et amorphe de la même couleur; nitrate de potasse.
Nº 9. Nitrate de cuivre saturé, dans un tube fêlé +	Monosulfure de sodium saturé.	Néant.	Oxyde de cuivre anhydre, amorphe et cristallisé.
Nº 10. Silicate de potasse à 7° aréométriques —	Sulfate de cuivre saturé +	Papier parchemin.	Néant.
Nº 11. Aluminate à 10° aréométrique —	Sulfate de cuivre saturé +	Papier parchemin.	Néant.
Nº 12. Nitrate de cuivre saturé +	Bicarbonate de soude saturé à 10° —	Papier parchemin.	Nitrate de soude.

TABLEAU.

PRODUIT formé dans l'éprouvette.	DIRECTIONS de l'osmose et du courant électrique. (La flèche indique que le courant électrique va du pôle + au pôle —.)	OBSERVATIONS.
Double oxalate de cuivre et de potasse en petits cristaux bleus.	Endosmose très-forte : est dirigée de l'oxalate au nitrate, c'est-à-dire du pôle + au pôle — →	Il y a des appareils dans lesquels il y a une forte endosmose dans le sens du courant électrique sans produits formés. Quand le papier est percé il y a d'abord exosmose, l'encroûtement du papier a empêché l'endosmose probablement.
Double oxalate de cuivre et de potasse en petits cristaux bleus.	Endosmose très-forte : est dirigée de l'oxalate au nitrate, c'est-à-dire du pôle + au pôle — →	
Double oxalate de cuivre et de potasse en petits cristaux bleus; très-beaux stalactites.	Endosmose très-forte : est dirigée de l'oxalate au nitrate, c'est-à-dire du pôle + au pôle — →	
Néant.	Point endosmose : courant électrique de l'oxalate au nitrate.	
Double sulfate en dissolution.	Endosmose dans le tube et dans le sens du courant →	
Absence de cuivre.	Pas d'endosmose, courant électrique du pôle + au pôle — →	
Donble phosphate en stalactite, petits cristaux : la dissolution ne contient pas de cuivre.	Forte endosmose dans le sens du courant électrique →	
Néant.	Endosmose du silicate au nitrate →	La nature des cristaux bleus et de la poudre de la même couleur sera examinée ultérieurement.
Nitrate et hyposulfate de soude.		On donnera ultérieurement la composition du produit formé dans le tube.
Silicate de cuivre sur la face du papier, en contact avec la solution métallique.	Pas d'endosmose, courant électrique du silicate au sulfate →	Il est probable que le courant a été en sens inverse ; ce qu'on n'a pu voir à cause de la différence dans les diamètres du vase ; l'endosmose aurait été dans le sens du courant.
Aluminate de cuivre sur la face du papier en contact avec la dissolution métallique.	Légère endosmose dans le tube, courant électrique inverse ←	On examinera la réaction de l'aluminate, en traitant d'une manière spéciale des silicates et des aluminaets.
Tubercules de double carbonate cristallisé, dissolution bleuâtre.	Exosmose dans le sens du courant.	

SECOND

DISSOLUTION placée dans le tube fêlé, ou le vase cloisonné, avec son état électrique.	DISSOLUTION introduite dans l'éprouvette, avec son état électrique.	NATURE de la cloison.	PRODUIT formé dans le tube.
N° 13. Sulfate de cuivre saturé +	Bicarbonate de potasse saturé —	Papier parchemin.	Sulfate de potasse.
N° 14. Nitrate de cuivre saturé +	Borate de soude —	Papier parchemin.	Nitrate de potasse.
N° 15. Nitrate de cuivre saturé +	Tartrate de potasse —	Papier parchemin.	Nitrate de potasse.
N° 16. Sulfate de cuivre saturé +	Phosphate de soude —	Papier parchemin.	Sulfate de soude.
N° 17. Sulfate de nickel saturé +	Phosphate de soude —	Baudruche.	
N° 18. Sulfate de cuivre saturé +	Chlorure de baryte saturé —	Papier parchemin.	Précipité de sulfate de baryte.
N° 19. Sulfate de cuivre saturé +	Phosphate de soude —	Papier parchemin.	Sulfate de soude.
N° 20. Sulfate de cuivre saturé +	Aluminate de potasse —	Papier parchemin.	Aluminate de cuivre à l'état cristallin.
N° 21. Sulfate de cuivre saturé +	Silicate de potasse saturé —	Papier parchemin.	Silicate de cuivre adhérant au papier.
N° 22. Sulfate de cadmium +	Chlorure de barium —	Papier parchemin.	Précipité dans le tube.
N° 23. Oxalate de potasse +	Chlorure de calcium —	Papier parchemin.	Chlorure de potassium.
N° 24. Chlorure de cobalt +	Phosphate de soude —	Papier parchemin.	Chlorure de sodium.

TABLEAU (*Suite*).

PRODUIT formé dans l'éprouvette.	DIRECTIONS de l'osmose et du courant électrique. (La flèche indique que le courant électrique va du pôle + au pôle —.)	OBSERVATIONS.
Double carbonate de cuivre et de potasse cristallisé.	Du bicarbonate au sulfate →	Produit dont la nature sera examinée ultérieurement.
Précipité rapide et très-abondant.	Endosmose du borate au nitrate →	Produit dont la nature sera examinée ultérieurement.
Précipité verdâtre sur la face du papier.	Endosmose du tartrate au nitrate →	
Précipité de phosphate double cristallisé sur la cloison.	Forte endosmose dans le sens du courant →	
	Forte endosmose dans le sens du courant →	
Chlorure de cuivre.	Endosmose dans le sens du courant →	Un second appareil a donné les mêmes résultats.
Phosphate de cuivre et de soude en petits cristaux.	Endosmose dans le sens du courant électrique →	
Non examiné.	Courant du silicate au sulfate →	
	Courant du chlorure au sulfate. Absence d'endosmose.	
Double oxalate de potasse et de chaux cristallisé.	Endosmose dans le sens du courant →	
Phosphate double violet cristallisé de cobalt et de soude.	Endosmose dans le sens du courant →	

SECOND

DISSOLUTION placée dans le tube fêlé, ou le vase cloisonné, avec son état électrique.	DISSOLUTION introduite dans l'éprouvette, avec son état électrique.	NATURE de la cloison.	PRODUIT formé dans le tube.
No 25. Nitrate de chaux +	Phosphate de soude —	Papier parchemin.	Non examiné.
No 26. Acide sulfurique au 1/10 +	Chlorure de barium —	Papier parchemin.	
No 27. Nitrate de zinc +	Bicarbonate de soude —	Papier parchemin.	Non examiné.
No 28. Sulfate de zinc à 25° +	Chlorure de barium à 15° —	Papier parchemin.	Précipité de sulfate de baryte.
No 29. Nitrate de cuivre concentré +	Aluminate de potasse —	Papier parchemin.	Aluminate de cuivre sur la face de la cloison.
No 30. Chlorure de calcium à 20° +	Bicarbonate de soude —	Vessie.	Chlorure de sodium.
No 31. Acide oxalique +	Potasse à 10° —	Papier parchemin.	
No 32. Acide oxalique +	Potasse à 5° —	Papier parchemin.	
No 33. Sulfate de chrome très-concentré +	Sulfate d'alumine —	Papier parchemin.	
No 34. Nitrate de plomb +	Phosphate de soude —	Papier parchemin.	Nitrate de soude.

TABLEAU (*Suite*).

PRODUIT formé dans l'éprouvette.	DIRECTIONS de l'osmose et du courant électrique. (La flèche indique que le courant électrique va du pôle + au pôle —.)	OBSERVATIONS.
Précipité.	Endosmose très-forte du phosphate au nitrate →	Ce précipité sera analysé ultérieurement.
Précipité.	Endosmose du bicarbonate au nitrate →	Ces produits n'ont pas été analysés, attendu que l'on cherchait seulement les rapports entre la direction de l'endosmose et celle du courant électrique.
Précipité.	Forte endosmose dans le tube →	
Non examiné.	Courant de l'aluminate au nitrate →	La composition de l'aluminate sera examinée ultérieurement.
Nitrate de potasse.	Courant du bicarbonate au nitrate →	Précipité non analysé.
Précipité au fond du vase.	Endosmose de la potasse à l'acide →	
	Endosmose du nitrate au sulfate →	
	Endosmose du nitrate au sulfate →	
	Forte endosmose du sulfate d'alumine à celui de chrome ←	
Précipité en stalactites.	Endosmose du phosphate au nitrate →	

Le premier tableau est composé de trois colonnes, la première contient la désignation du liquide mis en contact avec l'eau distillée par l'intermédiaire d'une cloison de papier parchemin; la deuxième la hauteur du liquide dans l'osmomètre déterminée par M. Graham; le signe + indiquant que le niveau est au-dessus de celui de l'autre liquide, le signe — qu'il est au dessous; la troisième, d'après mes observations, l'état électrique du liquide placé dans l'osmomètre, celui de l'eau étant de signe contraire, ainsi que la direction du courant qui est indiquée par les flèches → ←, selon que le courant va du pôle positif au pôle négatif, ou du pôle négatif au pôle positif. Les résultats consignés dans ce tableau montrent que dans vingt-cinq expériences sur trente-cinq, la direction de l'endosmose a été la même que celle du courant électrique, c'est-à-dire du pôle positif au pôle négatif, ce qui indique déjà que l'endosmose a été produite, dans les $\frac{5}{7}$ des cas, dans le même sens qu'a lieu le transport de l'eau de l'un à l'autre pôle, dans l'expérience de Porret.

Les dix cas d'exception portent sur les liquides suivants, dont l'endosmose est la plus faible : l'acide oxalique, l'acide chlorhydrique, le chlorure d'or, le bichlorure d'étain, le bichlorure de platine, le nitrate de magnésie, le chlorure de magnésium, le sulfate de potasse et le sulfate de magnésie; cas où les causes concomitantes peuvent agir avec plus d'énergie.

Je ferai observer à cet égard que, d'après les expériences de Dutrochet, les acides sulfurique, chlorhydrique, tartrique, citrique, donnent l'endosmose positive ou négative,

suivant leur densité; les acides oxalique et chlorhydrique concentrés donnent l'endosmose positive, dans le cas contraire le courant suit une marche inverse; ils obéissent alors à la loi générale du courant électrique, les trois autres exceptions portant sur des liquides à très-faibles endosmoses, cas dans lesquels les lois sont quelquefois en défaut; au surplus, je ne prétends pas que l'électricité soit la cause unique des phénomènes.

Je n'entrerai dans aucun détail sur la composition des produits indiqués dans le deuxième tableau, attendu qu'elle fera le sujet d'un mémoire spécial.

Je me bornerai à citer deux exemples choisis dans le deuxième tableau, pour indiquer les effets produits quand les deux liquides sont formés de deux solutions salines.

Premier exemple. — La solution de nitrate de cuivre, en réagissant sur celle d'oxalate de potasse saturé, a pris l'électricité positive, et a donné à celle-ci l'électricité négative; il y a eu endosmose dans le tube où se trouvait le nitrate, laquelle a été dirigée dans le même sens que le courant électrique, allant du pôle positif au pôle négatif; ce courant a pris de l'eau à la dissolution de l'oxalate, laquelle eau a emporté avec elle le nitrate de potasse résultant de la réaction des deux sels l'un sur l'autre, tandis que le double oxalate de cuivre et de potasse a cristallisé en formant des stalactites tubuleuses, ayant quelquefois plusieurs centimètres de longueur.

Second exemple. — Avec une solution de sulfate de cuivre et une autre de phosphate de soude, on a eu encore le courant d'endosmose vers le tube où est le sulfate de

cuivre, c'est-à-dire du pôle positif au pôle négatif; l'eau transportée contient du sulfate de soude, et le dépôt cristallin, formé sur la face positive, est un double phosphate de cuivre et de soude.

Les stalactites se forment naturellement sur la face de la cloison située du côté opposé où se trouve la dissolution qui traverse plus facilement que l'autre la cloison; ainsi, dans deux expériences rapportées précédemment, l'une avec le nitrate de cuivre et l'oxalate de potasse, l'autre avec le chlorure de calcium et le bicarbonate de soude, voici ce qui s'est passé : dans la première, le nitrate de cuivre a traversé plus facilement la cloison que l'oxalate; dans la seconde, il en a été de même à l'égard du chlorure de calcium; or, comme il s'est rendu dans le tube en premier lieu du nitrate de potasse, en second lieu du chlorure de sodium.

En effet, il y a eu dans les phénomènes produits endosmose et exosmose :

Il y a eu endosmose, d'une part, parce que le niveau de la solution où est le nitrate de cuivre, s'est élevé de 3 centimètres en quatre jours, de l'autre, attendu que cette solution contient du nitrate de potasse provenant de la réaction de nitrate de cuivre sur oxalate.

L'exosmose est démontrée par la sortie de la solution de nitrate de cuivre de la cloison, pour se porter sur la face extérieure où s'est opéré la double décomposition, d'où est résulté un double oxalate de cuivre et de potasse en très-petits cristaux qui dépolarisent la lumière.

On a trouvé la présence du nitrate de potasse dans la dissolution du nitrate de cuivre en la faisant évaporer, chauffant le résidu au rouge pour décomposer le sel métallique, repre-

nant par l'eau le résidu et essayant la solution par la dissolution de platine.

Le double oxalate a été analysé, en le décomposant par la chaleur, en carbonate de potasse et en oxyde de cuivre.

Voici maintenant comment on conçoit la formation des stalactites de double oxalate de cuivre et de potasse, abstraction faite des forces qui y ont concouru : à l'instant où la solution de nitrate de cuivre débouche dans celle d'oxalate de potasse par chacun des pores de la cloison, il se forme autant de petites vésicules qu'il y a de pores traversés ; ces vésicules qui s'entourent d'une enveloppe de double oxalate sont remplies d'une solution de nitrate de potasse résultant de la double décomposition. Il y a diffusion par l'intermédiaire des pores de la cloison de la solution de nitrate de potasse, dans celle de nitrate de cuivre, puis celle-ci entre dans l'enveloppe par exosmose, qu'elle perce; immédiatement après, une nouvelle réaction a lieu entre le nitrate de cuivre et l'oxalate de potasse, et formation d'une seconde vésicule à enveloppe solide de double oxalate ; ainsi de suite. L'ensemble de ces vésicules compose chaque stalactite, qui affecte une forme très-légèrement mamelonnée ou tubulaire à diamètre plus ou moins capillaire.

Vient-on à briser l'extrémité inférieure de l'un de ces stalactites, on voit aussitôt s'échapper, comme d'un tube capillaire, la solution de nitrate de cuivre qui allonge rapide ment la stalactite, effet que l'œil peut suivre. Il en est de même quand le tube touche la paroi ; il se forme alors une stalagmite.

Il arrive quelquefois que les quantités d'eau transportées

sont exactement les mêmes. Dans ce cas, les deux niveaux ne changent pas. En voici des exemples :

1° Tube : solution de chlorure de cobalt.................... Éprouvette : solution de phosphate de soude..................	Absence d'endosmose. Formation abondante de double phosphate dans l'éprouvette.
2° Tube : solution de sulfate de potasse..................... Éprouvette : solution de chlorure de calcium................	Absence d'endosmose. Formation de double sulfate cristallisé en aiguilles dans le tube.
3° Tube : solution saturée de sulfate de cuivre.................. Éprouvette : solution saturée d'oxalate de potasse.........	Silicate de cuivre cristallisé sur la face de la cloison en contact avec la solution de nitrate.

On voit par ces trois exemples qu'il peut y avoir des transports de sel, sans pour cela que le niveau des liquides change.

Voici, maintenant, comment on peut envisager l'endosmose et l'exosmose en s'appuyant, d'une part, sur les expériences de Porret et de Fusinieri, dont on a parlé précédemment ; de l'autre, sur la faculté que possèdent les membranes organiques de ne pas être mouillées également par chacun des deux liquides qu'elles séparent, et sur le pouvoir diffusif de ces mêmes liquides.

Dans la première des deux expériences que je viens de rapporter, on voit le transport de l'eau qui tient en dissolution l'oxalate du pôle positif au pôle négatif, lequel n'est autre que l'endosmose ; l'exosmose qui transporte le nitrate de cuivre au travers de la membrane est également mis en évidence ; après l'avoir franchie, il réagit sur l'oxalate, en produisant un double oxalate qui cristallise, et du nitrate de potasse qui est emporté par l'endosmose et se diffuse dans la dissolution de nitrate de cuivre.

Quant à l'influence que peut exercer la différence dans la faculté que possède la membrane d'être mouillée inégalement par chacun des deux liquides, elle ne peut être appréciée dans ce cas-ci.

L'expérience n° 20 du tableau précédent montre bien que dans les conditions où l'on a opéré, le silicate de potasse a été transporté avec l'eau dans le tube par l'endosmose, au travers de la membrane, et, aussitôt son contact avec le nitrate de cuivre, a réagi sur ce dernier en produisant d'une part du silicate de cuivre, qui a cristallisé sur la face en contact avec la dissolution de nitrate de cuivre, de l'autre du nitrate de potasse.

Voilà un exemple où la silice n'est pas arrêtée par le diaphragme poreux; il en est de même avec l'aluminate de potasse. Je n'ai cité que deux exemples, j'en pourrais rapporter un plus grand nombre à l'appui de ma théorie.

§ III. — *Des causes qui peuvent apporter une perturbation dans les phénomènes d'endosmose.*

Les effets d'endosmose ainsi que les courants électriques résultant de la réaction de deux liquides en contact l'un sur l'autre, dans les espaces capillaires, n'ont plus lieu si des espaces cessent d'être capillaires, il n'y a plus alors que des effets de diffusion ou de simple filtration : les liquides qui altèrent également les cloisons de matière organique, en augmentant l'étendue des pores, tendent à annuler les courants électriques et l'endosmose. Il peut donc arriver des cas où, au lieu d'endosmose, il y a exosmose en apparence; mais en réalité où il n'y a que filtration.



Quand les solutions dans leur réaction donnent lieu à des produits qui obstruent les pores, les phénomènes sont plus ou moins lents à se produire et finissent par être annulés.

Les tubes fêlés ne s'opposent pas à l'endosmose, quand les fissures ont une capillarité suffisante pour opérer la réduction des métaux ; l'endosmose va de la dissolution négative à la dissolution positive, c'est-à-dire du pôle positif au pôle négatif. Toutes les substances inattaquables par les liquides, tels que le sable, le charbon, sont aptes à produire les phénomènes d'endosmose et d'exosmose, ainsi que les effets chimiques précédemment exposés, pourvu que les espaces capillaires aient une ouverture suffisamment petite.

Les variations de température qui dilatent les pores, doivent influer aussi sur les phénomènes. On ne voit pas que la nature de la substance de la cloison exerce une influence autre que celle qui résulte de son altération par les liquides. Ces altérations produisent elles-mêmes, soit des courants électriques, soit des pores plus grands.

Si M. Dutrochet a observé que dans certaines circonstances l'acide sulfurique renversait le sens de l'endosmose, cela tenait sans doute à ce qu'il y avait production d'un courant électrique en sens contraire.

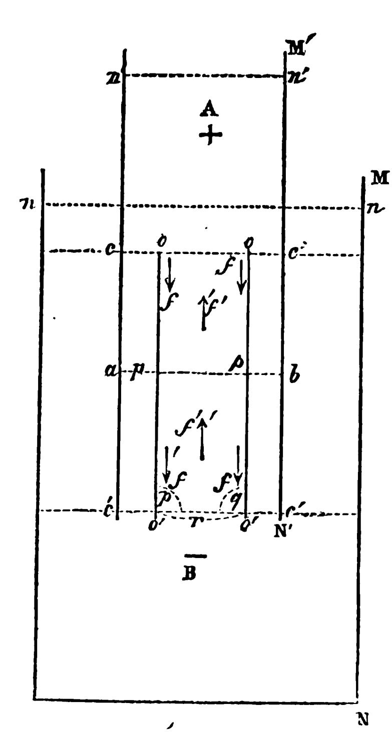
En résumé, les résultats consignés dans le tableau précédent, mettent en évidence deux ordres de faits importants :

1° Lorsque deux solutions neutres acides ou alcalines, en réagissant l'une sur l'autre, par l'intermédiaire d'une membrane ou d'une cloison d'une nature quelconque à pores capillaires, leur niveau étant le même, donnent lieu à un précipité insoluble ou moins soluble que l'un des corps dissous, ces deux dissolutions, dis-je, se consti-

tuent dans deux états électriques différents, et forment avec la cloison un couple voltaïque sans qu'il soit nécessaire de l'intervention d'un conducteur métallique. Ces états électriques sont en rapport avec les phénomènes d'endosmose et d'exosmose produits dans les mêmes circonstances, quoiqu'ils n'en dépendent pas entièrement. Le liquide servant de dissolvant est transporté en général du pôle positif au pôle négatif, comme dans l'expérience de Porret.

2° Pendant que l'endosmose se produit dans le sens du courant, c'est-à-dire du pôle positif au pôle négatif, l'exosmose a lieu dans le sens inverse du courant du pôle négatif au pôle positif, et amène la substance dissoute en traversant la cloison sur la face qui constitue le pôle positif. C'est sur cette face que s'opère ordinairement la réaction et par suite le précipité. Il résulte de là que le niveau d'un des deux liquides s'élève d'un côté, et le précipité se forme ordinairement de l'autre côté. Le courant d'endosmose emporte avec l'eau les produits solubles résultant de la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre. On voit donc que les rapports existant entre les courants électriques, l'endosmose et l'exosmose, sont mis en évidence d'une manière incontestable, sauf cependant dans quelques cas que j'indiquerai plus loin. Je me borne à donner ici le principe général. On ne fait donc pas jouer un rôle unique à l'électricité.

La figure suivante indique comment sont produits les divers effets que je viens d'indiquer.



MN vase extérieur.
M'N' vase intérieur ou endosmomètre.
nn niveau primitif des deux liquides.
n'n' niveau définitif dans l'endosmomètre.
cc c'c' cloison séparatrice.
oo o' o' une des cellules de la cloison dont les dimensions sont considérablement amplifiées.
A liquide positif de M'N'.
B liquide négatif de MN.
ab plan de la rencontre des deux liquides dans la cloison, après leur introduction par l'action capillaire et l'introduction où a lieu le dégagement d'électricité.
ff direction des courants partiels le long des parois des espaces capillaires.
f' f' direction des courants au travers des liquides.

La partie *op* est le pôle négatif.
La partie *po'*, le pôle positif.

Le précipité s'effectue en *prq* et obstrue quelquefois les ouvertures telles que celle *o' o'*, dont on a exagéré les dimensions pour la facilité des explications.

Le courant *f' f'*, celui d'endosmose, dirigé du pôle positif au pôle négatif dans l'intérieur de la cloison, emporte dans A l'eau de B et les produits solubles formés dans la double décomposition. Tandis que le courant *ff* emporte dans la cellule le sel du liquide A, traverse la cellule et réagit à sa sortie sur le liquide B. Dans la cellule, on ne trouve aucune trace de la présence du liquide, preuve que toute la décomposition a lieu en *o' o'* et les parois contiguës de la cellule.

Il arrive quelquefois qu'il n'y a pas d'endosmose de produit, cela peut tenir à diverses causes.

1° L'ouverture $o' o'$ de la cellule et toutes les ouvertures semblables qui forment la cloison avec leurs parois, peuvent être promptement obstruées.

2° Il peut arriver que plusieurs cellules se réunissent ensemble par suite de l'action exercée par l'un des liquides sur la cloison; dans ce cas, l'ouverture n'est plus assez capillaire pour produire les effets électro-capillaires ainsi que l'endosmose et l'exosmose ou la dialyse, bien que l'état électrique des liquides ne soit pas changé.

3° Deux liquides neutres étant l'un positif, l'autre négatif et l'endosmose ayant lieu dans le sens du courant électrique, si l'on ajoute au liquide qui est négatif une quantité très-minime d'acide, le sens du courant change aussitôt, et la direction de l'endosmose également change, comme Dutrochet l'a observé, en plaçant dans l'endosmomètre de l'eau de gomme ou de l'eau sucrée et mettant dans le récipient de l'eau avec quelques gouttes d'acide sulfurique, laquelle est devenue aussitôt positive; l'endosmose a été dirigée dans un autre sens, c'est-à-dire de l'eau sucrée à l'eau.

4° La pesanteur n'exerce aucune influence sur la production des composés insolubles, que les solutions employées soient saturées ou non, que leur niveau soit ou non le même, que la solution positive se trouve dans le tube ou dans l'éprouvette; dans le premier cas, les stalactites s'abaissent quelquefois dans l'éprouvette, suivant la direction de la verticale sur une longueur de 1 à 2 décimètres. Dans le dernier cas, elles s'élèvent dans le tube, dans une direction opposée à la pesanteur.

On voit par là que les phénomènes d'endosmose et les effets chimiques qui les accompagnent, sont dus au concours

simultané des affinités, peut-être, de l'hygroscopicité des cloisons, puis des actions électro-capillaires agissant comme forces physiques et comme forces chimiques.

J'ai déjà parlé de quelques exceptions relatives à la loi qui lie l'endosmose aux phénomènes électro-capillaires. J'y reviendrai en ce qui concerne particulièrement les solutions qui contiennent des colloïdes, expressions adoptées par M. Graham, pour désigner des substances qui ont une apparence gélatineuse. Ces exceptions sont d'autant plus intéressantes à étudier, qu'elles se rattachent aux phénomènes de dialyse qu'il a si bien étudiés.

§ IV. — *De la formation des aluns et des doubles combinaisons dont l'acide est le même dans chacune d'elles.*

L'appareil composé d'un tube cloisonné et d'une éprouvette va nous servir encore à opérer des doubles combinaisons : on introduit dans le tube une solution de sulfate d'ammoniaque marquant de 11 à 12 degrés à l'aréomètre, et dans l'éprouvette, une solution de sulfate d'alumine, marquant 8 degrés environ. La solution de sulfate d'ammoniaque traverse la cloison, qui est en papier parchemin; elle rencontre sur la face opposée le sulfate d'alumine, avec lequel elle se combine. Le double sulfate formé se dissout; puis, quand le liquide est saturé, il y a cristallisation sur la face extérieure de la cloison. J'ai obtenu ainsi un cristal octaèdre très-limpide d'alun ammoniacal ayant deux centimètres de côté, adhérent à la surface.

Quand les cristaux sont trop gros, ils tombent au fond de l'éprouvette. Il est à remarquer que le sulfate d'alumine ne

passe pas sensiblement dans le tube où est le sulfate d'ammoniaque, puis qu'il ne s'y forme pas de cristaux d'alun. Il y a là une espèce de dialyse.

Quels sont les effets électriques produits dans ce cas-ci? le sulfate d'alumine qui est dans l'éprouvette prend l'électricité positive dans son contact avec le sulfate d'ammoniaque dont la solution est négative; par conséquent, la face du papier qui touche le sulfate d'alumine est le pôle négatif et la face opposée le pôle positif. D'après le principe établi, le courant d'endosmose doit aller du sulfate d'ammoniaque au sulfate d'alumine; c'est ce qui a lieu effectivement, puisque le sulfate d'ammoniaque seul traverse le papier parchemin, le sulfate d'alumine restant à leur éprouvette.

§ V. — *De la dialyse dans ses rapports avec les forces électro-capillaires.*

Dutrochet a reconnu que, dans l'endosmose, les dissolvants traversent à peu près seuls la cloison, et que, dans l'exosmose, ce sont les sels qui sortent; M. Graham a découvert qu'il fallait en excepter les colloïdes que l'on pouvait séparer ainsi des sels; de là la dénomination de dialyse qu'il a substituée à celle d'exosmose.

En introduisant, par exemple, une dissoluion de silice dans l'acide chlorhydrique, dans un tube fermé avec du papier parchemin, et plongeant le réservoir de cet endosmomètre dans un vase rempli d'eau distillée, la dissolution de silice cède peu à peu à l'eau distillée, par l'intermédiaire du papier, l'acide qui la tenait en dissolution ainsi

que le chlorure de potassium formé en dissolvant le silicate de potasse dans l'acide chlorhydrique. A la fin de l'expérience il ne reste plus dans le réservoir que de la silice en dissolution dans l'eau, laquelle finit par se prendre en gelée. Dans cet état, la silice et les autres corps colloïdes se trouvent dans un état d'équilibre instable.

Or que se passe-t-il dans l'appareil? Les deux liquides en contact prennent, la solution acide, l'électricité positive, et l'eau, l'électricité négative. Il doit donc y avoir des effets électro-capillaires tels qu'il en résulte un courant électrique dirigé de l'eau à l'acide, par conséquent, du pôle positif au pôle négatif; d'après ce qui a été dit sur l'endosmose, il doit y avoir transport de liquide, de l'eau, dans la dissolution acide, comme on l'observe effectivement. M. Graham ne met qu'une couche peu épaisse de la dissolution de silice dans l'acide chlorhydrique. Cette dissolution perd son acide et le chlorure de potassium par exosmose et par la dialyse, qui est une dépendance de l'exosmose, et elle prend de l'eau par endosmose; cet effet n'est produit que parce que la dissolution de silice a une très-faible propriété de diffusion. Pour étudier l'endosmose, j'ai opéré avec les appareils précédemment décrits, composés d'un tube de verre d'environ deux décimètres de longueur, fermé par le bout inférieur avec du papier parchemin, ce tube plongeant dans une éprouvette remplie d'eau. Une dissolution de silicate de potasse marquant 10° à l'aréomètre ayant été mise dans le tube, l'endosmose n'a pas tardé à se manifester. Il en a été de même quand la dissolution était plus étendue; l'eau est passée dans le tube, en même temps que l'acide chlorhydrique et le chlorure de potassium ont traversé

le papier pour se rendre dans l'éprouvette où on les a retrouvés. On voit donc encore ici l'application du principe établi précédemment, à savoir que l'endosmose est concomitante avec le courant électrique cheminant du pôle positif au pôle négatif, d'après les expériences de Fusinieri, et transportant l'eau dans le tube, tandis que le même courant transporte en sens contraire l'acide chlorhydrique et le chlorure de potassium, effet dû au courant d'exosmose, mais la membrane arrête au passage la silice dont la dissolution possède un très-faible pouvoir diffusif. Je dois à ce propos faire une observation : la dissolution acide prend en effet l'électricité positive dans son contact avec l'eau et celle-ci l'électricité négative; mais ces deux états électriques diminuent à mesure que l'eau devient acide, et il arrive un instant où ces états changent de signe ; le maximum a lieu quand tout l'acide chlorhydrique a passé de l'autre côté. Ne pourrait-on pas attribuer à ce changement la prise en gelée de la dissolution de silice, qui perd de l'eau au bout d'un certain temps, attendu que l'on n'a que la différence entre les deux effets produits?

Je me borne à montrer, que le phénomène de la dialyse, a des rapports avec l'action mécanique du courant électrique produit dans la réaction des deux liquides ; avec cette condition, toutefois, que la cloison poreuse arrête la dissolution de silice à l'aide de son faible pouvoir diffusif.

Je ne rapporte ici qu'un seul exemple, qui suffit pour indiquer comment on peut concevoir les rapports que la dialyse peut avoir avec les effets électro-capillaires, effets qui doivent être d'une grande fécondité dans les fonctions de la vie organique.

§ VI. — *Des rapports entre les courants électro-capillaires et les phénomènes d'endosmose au contact des liquides organiques et de l'eau par l'intermédiaire d'une cloison poreuse.*

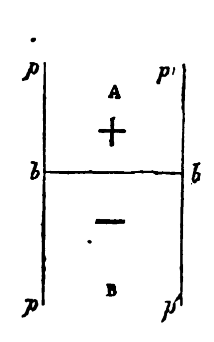
Les solutions non-concentrées de sucre, de gomme arabique, d'albumine, etc., dans leur contact avec l'eau distillée dont elles sont séparées par du papier parchemin, prennent l'électricité négative, et l'eau, l'électricité positive; la face du papier en contact avec l'eau sucrée est le pôle positif et l'autre le pôle négatif; or, comme le courant d'endosmose va de l'eau à la dissolution de la substance organique, il s'ensuit que sa direction est celle du pôle négatif au pôle positif et par conséquent dans une direction opposée à celle de l'endosmose des substances inorganiques dans leur contact avec l'eau; avec ces dernières, la direction de l'endosmose est la même que celle transmise au liquide par les courants électriques ordinaires dans l'expérience de Porret.

D'où peut donc provenir cette inversion qui est en opposition avec la loi que j'ai cherché à établir pour montrer comment les courants électriques influent sur la production de l'endosmose et de l'exosmose avec les dissolutions de substances organiques? Plusieurs causes concourant à la production des effets observés, il est difficile d'assigner ici quelle est celle qui est prépondérante. Je me borne donc à signaler le fait.

On a vu précédemment que, lorsqu'une cloison poreuse, quelle que soit sa nature, sépare deux liquides dont l'un est positif et l'autre négatif, par l'effet des actions de contact, si

l'on plonge dans chacun d'eux une lame de platine en rapport avec un galvanomètre, on a un courant électrique dirigé de la lame positive à la lame négative en suivant le fil métallique qui joint les deux lames; ce courant est invariable tant que l'état électrique des liquides n'a pas changé, mais en est-il de même avec des conducteurs imparfaits, comme le sont les parois des espaces capillaires recouvertes d'une couche de liquide infiniment mince dont l'état moléculaire est différent de celui du liquide à une certaine distance ? cela est douteux.

En effet, si la cloison n'était pas interposée entre les deux liquides il n'y aurait pas de courant électrique, mais bien une simple recomposition des deux électricités au contact puisqu'il n'existerait aucun corps conducteur capable d'opérer la recomposition des deux électricités; il y aurait alors seulement diffusion des deux liquides de l'un dans l'autre.



Cela posé, voici comment on peut concevoir l'inversion dont il est question : soit *pp p'p'* un des pores de la cloison qui sépare deux liquides A et B et dans laquelle se produit d'abord l'action capillaire, *bb* étant la ligne de séparation des deux liquides : le liquide supérieur est positif et le liquide inférieur négatif; les parois *pb*, *p' b* sont les conducteurs de l'électricité par l'intermédiaire desquels s'établit le courant dit électro-capillaire. Le courant, en suivant les parois, entre dans le liquide B et revient dans le liquide A en suivant la partie centrale de la cellule et transporte le liquide de B dans A, tandis que

l'électricité négative, en suivant les mêmes parois, produit un effet inverse et est une des causes du courant d'exosmose moins fort que l'autre courant.

Voilà bien ce qui passe avec les corps de nature inorganique, bons conducteurs de l'électricité.

Quant aux liquides qui ont une autre origine comme l'eau de gomme, l'eau sucrée, etc., ne peut-on pas supposer que les deux électricités dégagées dans leur contact avec l'eau, au lieu de suivre les parois de la membrane à cause de la mauvaise conductibilité des solutions pour se recombiner, opère immédiatement leur recomposition à la surface des deux liquides, en sorte que le courant irait du liquide positif au liquide négatif en transportant le liquide supérieur dans le liquide inférieur qui est négatif; il faudrait alors que la cellule imprégnée de liquide se comportât comme conducteur liquide et comme conducteur solide en raison de la capillarité.

Il faudrait donc admettre que la mauvaise conductibilité des matières organiques changeât ou modifiât les rapports existant entre le courant d'endosmose et le courant électrique agissant comme force mécanique.

En résumé, les recherches dont les résultats sont consignés dans les deux premières parties de ce mémoire conduisent aux conséquences suivantes :

1° Le courant électro-capillaire produit au contact de deux solutions différentes séparées par une cloison à pores capillaires, agit comme puissance mécanique et comme puissance chimique dans deux sens différents; il concourt avec le pouvoir diffusif et la propriété hygrométrique de la membrane pour chaque liquide, à la production de l'endosmose

et de l'exosmose. Il peut se faire qu'il n'y ait ni endosmose ni exosmose, le niveau restant le même dans les deux liquides, bien qu'il y ait transport des substances dissoutes. Le pôle négatif est la face de la cloison en contact avec le liquide positif, et la face opposée en contact avec le liquide négatif est le pôle positif.

2° Lorsque les deux solutions, en réagissant l'une sur l'autre, produisent un précipité, l'endosmose a lieu suivant les principes précédents. Le précipité se dépose ordinairement à l'état cristallin ou amorphe sur la face positive de la cloison. Mais il y a des exceptions sur lesquelles on reviendra dans un prochain mémoire.

3° Dans le phénomène de la dialyse, l'influence de l'électricité intervient également, par cela même qu'elle agit dans le même sens que l'exosmose. Lorsque le phénomène a lieu entre deux solutions dont l'une est alcaline contenant de la silice, de l'alumine, etc., etc., et l'autre un sel métallique, il y a endosmose; mais la silice, comme l'alumine transportée par le courant, traverse la cloison pour se combiner, sur la face négative, avec l'oxyde métallique et former un double silicate, un double aluminate, à l'état cristallin, ou un silicate, ou un aluminate simple; voilà une des exceptions dont on vient de parler.

4° L'électro-capillarité, indépendamment des phénomènes de réduction et d'oxydation, a donc des rapports avec l'endosmose, l'exosmose et la dialyse, qui sont des phénomènes dus à plusieurs causes.

LÉGENDE DES FIGURES.

Fig. 1. T tube fermé par le bout inférieur avec du papier parcheminé et contenant une dissolution de nitrate de chaux; E éprouvette remplie d'une dissolution de sulfate de soude. Les produits formés sont des stalactites plus ou moins capillaires, creuses, de double sulfate, de soude et de chaux cristallisée (gaz-lussite). L'une des stalactites forme à son extrémité inférieure une stalagmite, aux points où cette stalactite rencontre le fond de l'éprouvette.

Fig. 2. Mêmes dispositions que pour l'appareil fig. 1 ; les pores du papier parcheminé étaient tels qu'il en est résulté un très-grand nombre de stalactites qui se sont anastomosées dans diverses directions, donnant ainsi une idée, imparfaite à la vérité, du système sanguin dans l'homme et les animaux.

Fig. 3. T tube fêlé contenant une dissolution d'or; E éprouvette contenant une dissolution d'acide gallique ou oxalique. Il s'est déposé dans la fente et sur la paroi intérieure du tube de l'or métallique en cristaux ou en tubercules. La dissolution d'or finit par être complétement décomposée.

Fig. 4. T tube fermé avec une triple cloison de papier parcheminé albuminé, et rempli d'une dissolution d'aluminate de potasse. Éprouvette contenant une dissolution de nitrate de cuivre concentrée.

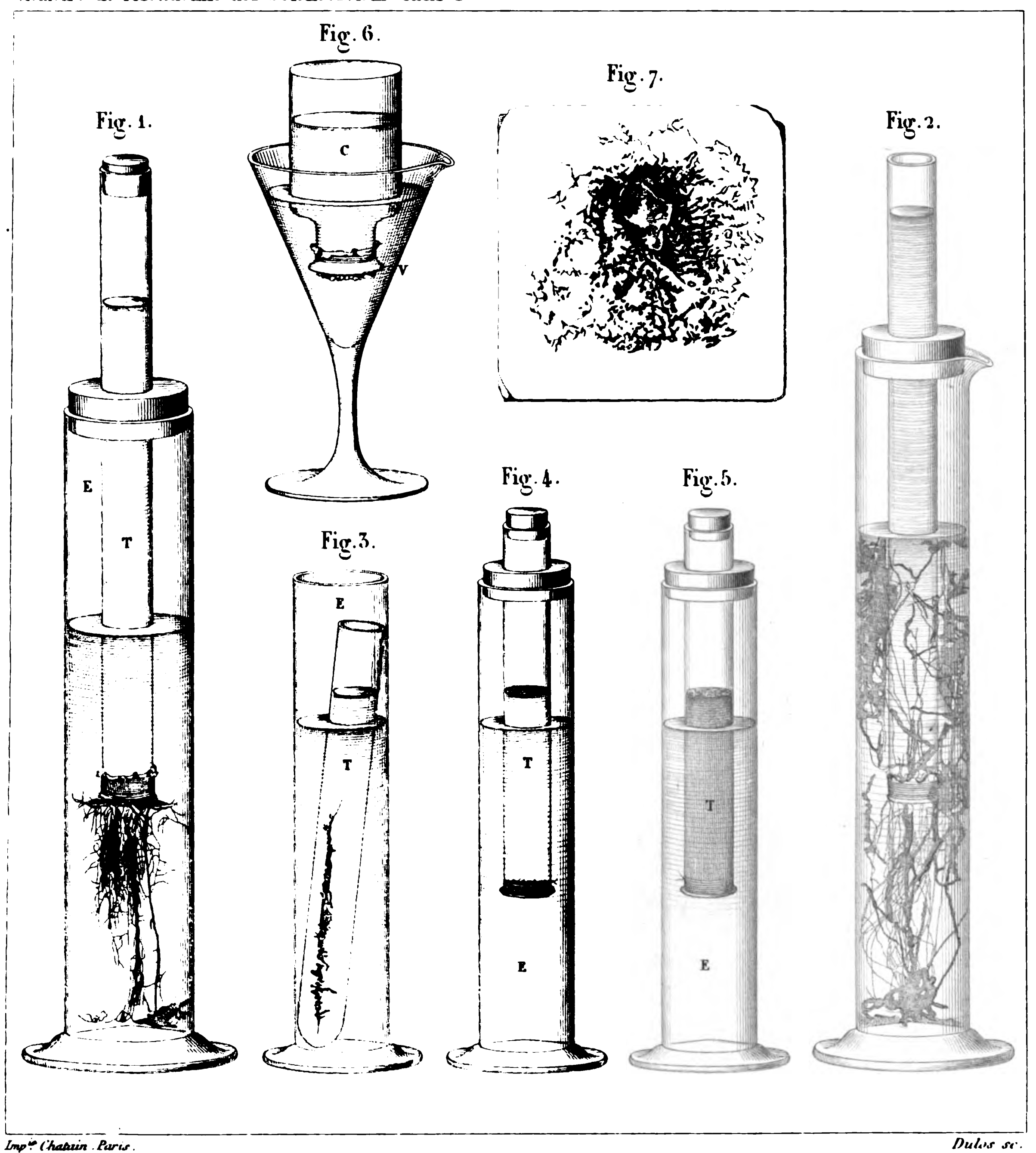
Il s'est déposé sur la surface intérieure de la cloison des petites plaques d'alumine hydratée, et quelquefois, sur la surface extérieure du contact avec la dissolution de nitrate, des cristaux d'aluminate de cuivre.

Fig. 5. Même disposition que pour l'appareil fig. 4. On met dans le tube une dissolution de nitrate de chaux; dans l'éprouvette une dissolution de bi-carbonate de soude, produits formés; chaux carbonatée rhomboïdale suspendue à la surface supérieure de la dissolution de nitrate et sur les parois intérieures du tube.

Fig. 6. C flacon fermé avec du papier parchemin au moyen d'un fil enroulé autour du bourrelet et contenant une dissolution d'aluminate de potasse. Ce flacon est plongé dans un verre à patte V contenant une dissolution de nitrate de cuivre. Cet appareil donne le même produit que celui de l'appareil fig. 4.

Fig. 7. Dendrites formées de petits cristaux d'argent métallique provenant de la décomposition d'une dissolution de nitrate d'argent, placés entre deux lames de verre jointives et plongeant dans une dissolution de monosulfure de sodium.





Impr. Chardon. Paris. Dulos sc.

TROISIÈME PARTIE.

DES DIVERSES CLOISONS ET DE L'INFLUENCE DES MATIÈRES COLORANTES.

CHAPITRE PREMIER.

DES DIVERSES CLOISONS SÉPARATRICES.

J'ai montré dans les deux premières parties de ce mémoire que les membranes de nature organique interposées entre deux liquides convenablement choisis, produisaient des courants électriques qui concouraient à la formation de l'endosmose, de l'exosmose, de la dialyse, et opéraient des réductions métalliques ou autres effets chimiques; l'endosmose et l'exosmose proviennent de diverses causes : 1° du pouvoir diffusif des liquides en contact; 2° de leurs affinités réciproques; 3° de la propriété hygrométrique de la membrane; 4° de l'action des courants électro-capillaires agissant chimiquement et mécaniquement dans deux sens opposés.

Il est difficile d'indiquer *à priori* la part affectée à chacune de ces quatre causes dans la production des effets, l'expérience seule pouvant la faire connaître. Il peut arriver que le niveau des deux liquides reste le même, et que les subs-

tances dissoutes cheminent dans deux sens différents et produisent des composés cristallisés, dont quelques-uns ont été décrits précédemment ; il est bien entendu que les autres actions que je viens de mentionner peuvent intervenir.

J'ai continué à me servir des dénominations d'endosmose et d'exosmose introduites dans la science par Dutrochet pour définir les effets inverses des actions physiques, mécaniques ou chimiques, produites quand deux liquides différents pouvant se diffuser sont séparés l'un de l'autre par une cloison capillaire, de nature quelconque.

On peut poser en principe que les cloisons de même nature n'étant pas homogènes, les pores ne doivent pas avoir tous les mêmes dimensions, comme du reste j'en fournirai plus loin des preuves, en montrant que ces dimensions varient dans des limites assez étendues. On a donc pu quelquefois attribuer l'exosmose à d'autres causes que celle qu'on lui connaît ; la grandeur des pores, quelquefois produit une simple filtration. L'endosmose et l'exosmose, dépendent des dimensions des pores, de la nature des liquides et de celle de la cloison ; ainsi toute cause qui tend à obstruer les pores des cloisons modifie nécessairement ces divers phénomènes ; de là, on peut déjà conclure que les actions chimiques qui s'opèrent dans les tissus des corps organisés sont modifiées par les forces physiques qui ont leur origine dans les espaces capillaires. J'en ai déjà fourni la preuve la plus manifeste, en prouvant que le cobalt et le nickel pouvaient être réduits de leurs dissolutions, à l'état métallique, par un moyen beaucoup plus simple que celui employé en chimie. J'ajouterai encore que, dans les effets divers qui sont produits, les courants électriques sont ordinairement dirigés dans le même

sens; mais leurs propriétés de transport varient suivant la grandeur des pores de la cloison et d'autres causes.

Dutrochet a étudié les phénomènes d'endosmose et d'exosmose avec des membranes de nature organique et de nature inorganique, mais principalement avec les premières. Celles de nature organique comprennent la vessie, le cæcum du poulet, l'enveloppe de la graine du baguenaudier, la membrane mince et diaphane de l'allium porrum.

Voici comment agissent ces dernières membranes :

Avec l'acide oxalique, par exemple, séparé de l'eau par une membrane animale, l'endosmose va de l'acide vers l'eau, quelles que soient la densité et la température; en remplaçant cette membrane par une gousse de baguenaudier contenant l'acide, on trouve que l'endosmose va de l'eau vers l'acide.

Avec la membrane de l'allium porrum, l'endosmose est encore dirigée de l'eau vers l'acide. Les acides tartrique et citrique, employés à des densités inférieures à 1,05 et à une température de 25°, produisent également des inversions avec les deux espèces de membranes.

On voit donc que la nature des membranes influe sur la direction d'endosmose; reste à savoir si avec les membranes végétales, l'endosmose n'est pas le résultat d'une simple filtration en raison de la grandeur des pores.

Je vais parler maintenant de cloisons autres que celles de nature organique. N'oublions pas qu'il faut tenir compte : 1° des altérations résultant de l'action des liquides sur les tissus, lesquelles, en modifiant la porosité, changent les conditions essentielles du phénomène; 2° des dépôts formés dans les pores des cloisons pendant les réactions diverses qui ont



lieu entre les liquides et ces derniers ; dépôts obstruant plus ou moins ces cloisons et pouvant diminuer et même annuler les phénomènes d'endosmose et d'exosmose.

Dutrochet a étudié, comme on l'a déjà dit, le mode d'action des cloisons séparatrices de nature inorganique.

Il a fixé à l'ouverture de son endosmomètre, une lame de grès tendre très-pur de 6 millimètres d'épaisseur ; ayant rempli ce réservoir avec de l'eau chargée de 0,2 de son poids de gomme arabique, il le plongea dans de l'eau distillée, l'endosmose ne se manifesta pas ; cette lame ayant été remplacée par une autre de 4 millimètres d'épaisseur, l'effet fut le même ; avec une lame de grès dur et très-ferrugineux et de 3 millimètres d'épaisseur, il obtint une endosmose, mais très-faible et d'une lenteur telle, que la colonne ne s'éleva en deux jours que de 2 millimètres. En variant les expériences, il ne put jamais obtenir d'autres résultats. Le sucre s'est comporté de même que la gomme ; il attribua la faible endosmose obtenue une fois à la nature chimique particulière du grès ferrugineux. Nous verrons plus loin que la porosité des lames, qui n'avait pas les dimensions voulues, était la seule cause de l'absence d'endosmose.

La porcelaine dégourdie ne lui a pas donné d'endosmose avec des solutions fortement chargées de sucre, d'alcool, etc. Dans toutes ses expériences, il n'a obtenu que des effets nuls ou des filtrations sans la moindre apparence d'endosmose.

Il obtint des effets assez énergiques avec des lames d'argile blanche cuite, de 2 à 5 millimètres d'épaisseur. Il en a été de même à l'égard de lames d'argile grossière de 1 centimètre à 1 centimètre $\frac{1}{2}$ d'épaisseur. Avec la plus épaisse des lames, on eut encore l'endosmose, mais très-lentement. Ces

effets auraient dû lui indiquer que le degré de porosité devait jouer le rôle principal dans la production du phénomène.

Une lame faite avec de la pierre tendre à bâtir n'a pas offert l'endosmose. Il a trouvé néanmoins des lames qui l'ont produite; avec le marbre, elle a été nulle; si ce n'est, dit-il, lorsque la perméabilité pour l'eau était suffisante. Une lame de plâtre de 4 millimètres d'épaisseur n'a donné aucun effet.

On voit par les faits que je viens de rapporter que la propriété endosmotique n'appartient guère, d'après Dutrochet, qu'à des membranes de nature organique, et par exception, à des cloisons alumineuses comme la terre de pipe, à laquelle on a fait éprouver un certain retrait par la chaleur.

M. Graham a fait usage principalement, pour étudier la dialyse, du papier parchemin qui a l'avantage incontestable sur les membranes organiques d'être moins altérable par les acides et les alcalis que ces dernières. Il lui fait subir l'épreuve suivante avant de l'employer; le papier étant appliqué sur l'ouverture du vase, il verse de l'eau dans celui-ci et il examine si le papier est partout translucide et ne laisse pas filtrer l'eau. Il est alors réputé bon pour les expériences.

Quand ce papier présente cet inconvénient, c'est-à-dire qu'il laisse filtrer, on y remédie soit en le recouvrant d'une couche mince d'albumine ou bien en le préparant avec le papier à filtrer dit Berzelius, qui est homogène dans sa texture.

Le papier parchemin ordinaire est composé de pores de toutes grandeurs, comme on en a la preuve dans l'appareil avec lequel on forme des stalactites tubuleuses, appareil composé d'un tube fermé à une extrémité avec du papier parche-

min ordinaire et rempli d'une solution saturée de nitrate de chaux, puis plongeant dans une solution saturée de sulfate de soude; les stalactites tubuleuses qui adhèrent à la surface extérieure du papier sont formées de double sulfate de soude et de chaux cristallisé; leur diamètre est très-variable et par suite la grandeur des pores du papier qui ont livré passage à la solution de nitrate de chaux, lequel a réagi sur celle de sulfate de soude.

Il est très-important toutefois que ces diamètres soient sensiblement les mêmes : en effet, les expériences de M. Poiseuille sur la résistance au passage d'un liquide au travers d'un tube capillaire montrent qu'elle est approximativement égale à la quatrième puissance du diamètre. Il résulte de là qu'en diminuant de plus en plus et pour ainsi dire indéfiniment le diamètre des tubes capillaires, on ralentit aussi peu à peu presque indéfiniment l'écoulement du liquide.

D'un autre côté, on peut concevoir une masse solide, poreuse, séparant deux liquides comme un assemblage de tubes capillaires assez nombreux pour que leurs sections réunies constituent une large surface. Chaque tube individuel, quand cette masse n'est pas homogène, ne présente pas les mêmes conditions de difficulté de pénétration. Si tous les tubes sont tellement capillaires que l'écoulement des liquides ne soit plus possible, rien ne passera; au-dessus de ces limites, les deux solutions ou l'une d'elles passera d'autant plus facilement que les diamètres approcheront de la limite où, la force électro-capillaire cessant d'agir, la filtration l'emportera complétement. Il suffira d'un seul pore pour produire cet effet. C'est là le motif qui m'a engagé à faire des observations pouvant donner une idée des rapports entre

les diamètres des pores des membranes qui sont excessivement petits ; il y en a encore un autre qui m'a conduit à ces recherches.

On sait que les liquides circulent en vertu de forces physiques, dans les vaisseaux capillaires des corps organisés; que ces vaisseaux se ramifient dans les divers tissus de ces corps; qu'ils s'anastomosent entre eux et finissent par se perdre dans ces mêmes tissus, quand ils sont arrivés à un tel degré de capillarité que la circulation des liquides n'est plus possible ; voilà comment s'entretient la vie dans les corps organisés. On évalue dans l'homme leur plus petit diamètre à $0^{mm}004$.

J'ai cherché à déterminer le degré de finesse que pouvaient atteindre les parties creuses des stalactites de double sulfate de chaux et de soude (glaubérite) au-delà duquel les diverses causes actives cessent de transporter la solution de nitrate de chaux, qui, en réagissant sur celle de sulfate de soude ambiant, produit la partie solide des stalactites ; aussitôt que ces stalactites rencontrent une paroi solide, telle que la surface du vase, la solution s'écoule par l'ouverture capillaire inférieure, s'épanche sur cette surface, réagit sur le sulfate et produit ainsi de véritables stalagmites en très-petits cristaux. Les stalactites qui ont quelquefois deux décimètres de longueur s'anastomosent en formant quelquefois des bourrelets à leur rencontre, et très-fréquemment ces stalactites tubuleuses se perdent en filets imperceptibles comme si la force qui transporte la solution de nitrate de chaux, dans les capillaires, n'avait plus assez de puissance pour agir au delà.

En mesurant au microscope, avec un micromètre, les diamètres de ces stalactites, on a trouvé les valeurs suivantes :

1° des fragments qui avaient $\frac{1}{100}$ de millimètre ; 2° d'autres de $\frac{3}{1000}$ à $\frac{4}{1000}$ de millimètre; 3° d'autres enfin plus petits et qui se terminaient en pointes ayant à peine $\frac{1}{1000}$ de millimètre. En supposant que la partie creuse eût la même épaisseur que la paroi solide, il en résulterait que son diamètre serait le tiers du diamètre apparent, c'est-à-dire pour les plus petits 3 dix-millièmes de millimètre de diamètre.

On conçoit, d'après cela, comment dans les corps organisés des liquides peuvent circuler dans les vaisseaux capillaires d'une finesse extrême, par l'action seule des forces physiques. La diversité des diamètres met bien en évidence l'hétérogénéité des membranes et du papier parchemin.

Quand on jette les yeux sur un groupe de ces stalactites de diverses grosseurs, dont un certain nombre sont à peine visibles, qui s'anastomosent les uns avec les autres et laissent circuler des liquides dans leur intérieur, on croirait voir le système capillaire d'un animal.

Les membranes ne sont donc autres que des cribles, des filières qui livrent passage aux liquides transportés par les courants électro-capillaires, auxquels s'ajoutent les effets de diffusion et des affinités. Les stalactites tubuleuses qui se forment dans la réaction de la solution de nitrate de chaux débouchant par les pores dans celle de sulfate de soude, du moins leurs parties creuses doivent avoir des dimensions en rapport avec celles de ces pores. Ces pores peuvent être considérés comme analogues aux filières servant à étirer des fils de métal qui prennent leurs diamètres. Les diamètres des parties creuses donnent donc une idée de la dimension des diamètres des espaces capillaires qui laissent

passer la solution il y a encore des pores beaucoup plus petits. Il peut se faire aussi que des pores contigus concourent à l'effet produit.

Or on a vu précédemment qu'il y avait des parties creuses des stalactites ayant $\frac{3}{10000}$ de millimètre de diamètre : avec la baudruche on trouve des stalactites dont le diamètre intérieur a au moins cette dimension ; il pourrait y en avoir encore de moindre.

Au moyen des mesures que j'ai obtenues, on voit quelles sont les limites au-delà desquelles les solutions cessent de circuler dans les espaces capillaires des corps organisés à la température et à la pression ordinaire de l'atmosphère. Ces limites changent sans doute avec la température et la pression. Ce sont des questions dont je m'occuperai ultérieurement.

D'après ce qui précède, on conçoit que, suivant les dimensions des pores du papier parchemin ou des membranes, on peut obtenir des effets très-divers ; l'endosmose peut devenir même une filtration et par conséquent un simple effe de diffusion ou de filtration.

Si l'on veut avoir des papiers parchemin bien homogènes, il faut les préparer, je le répète, avec le papier à filtrer dit Berzélius, dont le tissu est serré et la porosité assez homogène ; les cloisons de ce papier, avec les solutions de nitrate de chaux et de sulfate de soude ne donnent que de rares stalactites d'une très-grande finesse, ce qui prouve leur homogénéité; mais si l'on opère au contraire avec une solution de chlorure de barium et une autre de sulfate de soude, les stalactites sont beaucoup plus nombreuses et de finesse différente, ce qui semble indiquer que la forte affinité de l'acide sulfurique pour la baryte intervient pour faciliter

le passage de la solution de chlorure de barium, au travers de la membrane.

M. Graham, en parlant de la vessie comme cloison séparatrice, a dit avec raison que, lorsqu'elle est fraîche, elle se putréfie rapidement, d'où résultent des irrégularités qui s'opposent à son emploi pour remonter à la loi du phénomène avec tel ou tel liquide; c'est pour ce motif qu'il conseille d'enlever la tunique musculaire pour ne conserver que la tunique séreuse.

M. Graham admet que la quantité de sel diffusé varie proportionnellement à la perméabilité osmotique, c'est-à-dire avec la facilité avec laquelle s'effectue la diffusion de chaque liquide et nullement à la porosité mécanique; il est difficile d'admettre cette assertion, bien que nous pensions avec lui que la diffusion intervient dans le phénomène.

Du reste, il conclut des faits observés que, quelle que soit la nature de l'action chimique exercée sur la membrane et qui agit si puissamment sur l'osmose, lors même qu'elle est très-faible, elle peut néanmoins produire un effet mécanique puissant; or, comme une action chimique donne lieu à une production d'électricité qui peut se tranformer en force physique ou force chimique, on ne peut dire encore la part que peut avoir chacune d'elles sur l'effet produit.

M. Graham a montré qu'une cloison formée uniquement d'albumine coagulée donnait des effets aussi considérables d'endosmose qu'avec les membranes; ce qui exclut selon lui que l'osmose soit due à la contractilité ou à la structure organique des cloisons inorganiques et à l'influence des matières colorantes.

J'ai examiné ensuite le mode d'action des cloisons sili-

ceuses qui ont donné des résultats à peu près nuls à Dutrochet. On substitue aux cloisons organiques, dans les appareils précédemment décrits, des colonnes de sable fin variant de 5 millimètres à 5 centimètres de hauteur, lesquelles sont retenues dans les tubes, avec un tampon d'asbeste. En opérant avec de l'eau sucrée ou de l'eau salée placée dans le tube et de l'eau distillée dans lequel il plonge, il se produit une simple filtration, au lieu d'une forte endosmose avec la membrane organique. Mais il n'en est plus ainsi en remplaçant l'eau distillée par une solution capable de réagir chimiquement sur l'autre et donnant seulement à la colonne de sable une hauteur de 2 centimètres. Si l'on met dans le tube une solution saturée de sulfate de soude et dans l'éprouvette une autre de chlorure de barium, il y a dans le tube une endosmose de 2 centimètres en deux jours. On ne voit pas de précipité dans l'éprouvette, comme on l'observe avec la membrane; il y a donc eu déplacement du dissolvant seulement.

En substituant au chlorure de barium le nitrate de chaux, les effets sont semblables, de même qu'en faisant l'expérience inverse.

Les cloisons en charbon animal présentent des particularités assez remarquables : on a mis dans un tube fermé avec une cloison de charbon animal en poudre, de 2 centimètres de hauteur, une solution saturée de sulfate de soude et dans l'éprouvette extérieure une solution concentrée de nitrate de chaux, il y a eu endosmose dans le sulfate comme avec la colonne de sable, effets inverses de ce qui a lieu avec le papier ou la membrane; puis, précipitation du sulfate de baryte dans le sulfate de soude comme avec le papier par-

chemin. Il y a donc eu seulement inversion dans la direction de l'endosmose; ce fait a été vérifié avec plusieurs solutions. Je me borne seulement à l'énoncer.

Des tampons de plâtre gâché fermant les tubes et variant en hauteur de 3 millimètres jusqu'à 2 centimètres, produisent très-difficilement les effets précédemment décrits, ainsi que des tampons de papier à filtrer fortement serré. Les pores sont au-dessous des limites où le passage des liquides puisse s'effectuer. Néanmoins il arrive des cas où l'endosmose est bien marquée ainsi qu'avec le charbon.

CHAPITRE II.

DE L'INFLUENCE DES MATIÈRES COLORANTES SUR LES PHÉNOMÈNES D'ENDOSMOSE ET AUTRES QUI S'Y RAPPORTENT.

En mettant dans un tube fermé avec du papier parchemin ou une membrane, de l'eau salée ou sucrée colorée avec le tournesol et de l'eau dans l'éprouvette, il se produit une forte endosmose dans le tube, et à peine si l'on voit des traces au bout de plusieurs jours de la couleur de tournesol dans l'eau; la couleur a donc été arrêtée par la membrane.

En remplaçant l'eau sucrée par une solution saline, ainsi que l'eau distillée par une autre solution, on introduit, dans l'appareil, un élément de plus, l'affinité des deux sels l'un pour l'autre; que se passe-t-il alors?

Avec une solution de nitrate de chaux colorée par le tournesol, dans le tube, et une autre de sulfate de soude dans l'éprouvette, il y a une forte endosmose dans le tube, la couleur ne traverse pas la cloison étant arrêtée par elle, et souvent même, suivant la porosité de celle-ci, le nitrate ne la traverse pas non plus. En général, les matières colorantes ne franchissent pas facilement les cloisons, même lorsqu'elles

sont de nature siliceuse; tout en produisant l'endosmose, au moins celle de l'eau.

En se bornant à colorer préalablement la membrane avant de la fixer à l'appareil, les effets sont quelquefois les mêmes, surtout quand la cloison est serrée; en déposant de l'argent à la surface des membranes par les procédés ordinaires de la photographie, on régularise la porosité et par suite les effets produits.

Il faut ranger, parmi les corps exerçant une affinité capillaire sur les matières colorantes qu'il décolore, le charbon animal dans un grand état de division. Toutes ces combinaisons diffèrent de celles provenant des affinités chimiques ordinaires, en ce qu'elles s'effectuent en toutes proportions.

On peut citer encore comme principes décolorants, l'hydrogène, l'acide sulfhydrique, le sulfhydrate d'ammoniaque, les sulfures alcalins, etc.

Les tissus absorbent également les matières colorantes, mais ils n'ont pas tous cette propriété au même degré; ainsi les tissus de nature animale, telles que la laine et la soie sont ceux qui en absorbent le plus, tandis que le coton, le chanvre et le lin sont les matières qui paraissent avoir le moins d'affinité pour les principes colorants. Ces propriétés doivent être prises en considération lorsque l'on veut se rendre compte de l'influence qu'exercent les matières colorantes sur les phénomènes électro-capillaires, par cela même qu'elles tapissent les parois des pores des cloisons séparatrices.

On a vu dans la deuxième partie de ce mémoire que ces phénomènes sont une des causes de l'endosmose; il faut y comprendre encore, je le répète, le pouvoir de diffusibilité

des liquides; la porosité, puisqu'elle est la cause déterminante des courants électriques, en facilitant la circulation des courants le long des parois des pores; enfin le pouvoir d'hydratation des membranes.

Je ferai remarquer qu'avec les membranes animales il y a de fréquentes endosmoses négatives, c'est-à-dire qu'il arrive que le niveau du liquide où s'est dirigée l'endosmose s'abaisse; cet effet peut provenir quelquefois de leur altération, qui produit une filtration, ou bien d'un changement dans la porosité et dans la densité.

Dutrochet a constaté, dans d'autres circonstances, que le changement de densité changeait le sens de l'endosmose; je vais en citer quelques exemples.

On trouve dans le tableau suivant les résultats obtenus dans les expériences faites avec les matières colorantes.

1re expérience.

Tube : eau salée, saturée, colorée par le tournesol.
Éprouvette : eau distillée.
Résultats : endosmose dans le tube; exosmose nulle de la matière colorante.

2e expérience.

Tube : solution d'eau salée, saturée.
Éprouvette : eau distillée et tournesol.
Résultats : endosmose dans le tube; la matière est arrêtée par le papier-parchemin.

3e expérience.

Tube : solution de nitrate de chaux, tournesol; papier-parchemin.
Éprouvette : solution de sulfate de soude.

Résultats : forte endosmose dans le tube ; le tournesol et les sels ne sont pas déplacés, comme ils le sont sans la présence du tournesol.

4e expérience.

Mêmes conditions, si ce n'est que le papier-parchemin est remplacé par la baudruche.

Résultats : les mêmes que dans l'expérience précédente.

5e expérience.

Tube : solution de chlorure de barium et tournesol ; cloison, baudruche ou vessie.

Éprouvette : solution de sulfate de soude.

Résultats : endosmose dans le tube ; exosmose du tournesol, nulle ; stalactites de double sulfate de chaux et de soude dans l'éprouvette.

6e expérience.

Tube : solution de sulfate de soude et tournesol.

Colonne de cinq centimètres de kaolin, pour cloison.

Éprouvette : solution de chlorure de barium.

Résultats : aucuns effets produits.

7e expérience.

Tube : solution de sulfate de soude et tournesol.

Cloison : colonne de sable, deux centimètres.

Éprouvette : solution de chlorure de barium.

Résultats : double sulfate dans le tube.

8e expérience.

Tube : solution de sulfate de soude, bois de campêche.

Cloison : colonne de sable de deux centimètres.

Éprouvette : solution de chlorure de barium.

Résultats : endosmose dans le tube de deux centimètres en deux jours. Exosmose nulle de la matière colorante.

9e *expérience.*

Tube : eau sucrée et campêche.
Cloison : colonne de sable de cinq centimètres.
Éprouvette : eau.
Résultats : légère exosmose au bout de soixante-douze heures.

10e *expérience.*

Tube : eau salée, saturée.
Cloison : papier ou baudruche.
Éprouvette : eau distillée et curcuma.
Résultats : endosmose dans le tube ; le curcuma n'est pas déplacé.

11e *expérience.*

Tube : solution de chlorure de barium.
Cloison : papier-parchemin.
Éprouvette : solution de sulfate de soude et curcuma.
Résultats : endosmose dans le tube, précipité dans l'éprouvette et non dans le tube.

12e *expérience.*

Eau sucrée.
Cloison : papier ou baudruche.
Éprouvette : eau distillée et curcuma.
Résultats : endosmose dans le tube ; la couleur n'éprouve pas de déplacement.
Conséquences : la couleur de curcuma se comporte à l'égard de l'eau distillée et de la membrane comme la couleur de tournesol. Il en est de même à l'égard des solutions de chlorure de barium et de sulfate de soude.

13e *expérience.*

Tube : solution de chlorure de barium.
Cloison : papier-parchemin.
Éprouvette : solution de sulfate de soude, orseille.

Résultats : endosmose dans le tube, sans l'orseille; dans l'éprouvette, double sulfate en stalactites.

L'orseille paraît se comporter comme le curcuma et le tournesol.

14e expérience.

Tube : solution de nitrate de cobalt ou de chlorure de cobalt.

Cloison : papier-parchemin.

Éprouvette : solution de sulfate de soude.

Résultats : belles stalactites de double sulfate; exosmose du chlorure de cobalt, nulle.

15e expérience.

Pétales bleues de pensées et autres fleurs, mêmes résultats.

16e expérience.

Tube : solution de nitrate de chaux et bois de campêche.

Cloison : papier-parchemin.

Éprouvette : sulfate de soude.

Résultats : endosmose dans le tube sans transport de sel, ni exosmose de la couleur.

17e expérience.

Tube : solution de nitrate de chaux et tournesol.

Cloison : baudruche.

Éprouvette : solution de sulfate de soude.

Résultats : endosmose dans le tube; faibles stalactites dans l'éprouvette; exosmose nulle de la couleur.

18e expérience.

Tube : eau sucrée et bois de campêche.

Cloison : papier-parchemin.

Éprouvette : eau distillée.

Résultats : endosmose nulle, exosmose de la couleur.

19e expérience.

Tube : eau salée, saturée.

Cloison : papier.

Éprouvette : eau distillée et curcuma.

Résultats : forte endosmose dans le tube, sans la couleur qui est restée dans l'éprouvette.

20e expérience.

Tube : eau sucrée.

Cloison : baudruche.

Éprouvette : eau distillée et curcuma.

Résultats : légère endosmose sans la couleur.

Avec l'eau salée, l'eau sucrée, et la baudruche l'endosmose est beaucoup moins forte qu'avec le papier.

21e expérience.

Tube : eau salée, saturée.

Cloison : baudruche.

Éprouvette : eau distillée et teinture d'orseille.

Résultats : forte endosmose dans le tube ; légère exosmose de la couleur.

22e expérience.

Tube : eau sucrée et tournesol.

Cloison : papier.

Éprouvette : eau distillée.

Résultats : forte endosmose dans le tube ; exosmose de la couleur, nulle. La teinture bleue a rougi.

23e expérience.

Tube : eau salée, saturée et tournesol.

Cloison : papier.

Éprouvette : eau distillée.

Résultats : forte endosmose dans le tube ; la couleur ne sort pas du tube.

24e expérience.

Mêmes dispositions, si ce n'est que le tournesol est placé dans l'éprouvette.

Résultats semblables.

25e expérience.

Tube : sulfate de soude et campêche.

Cloison : colonne de sable de deux centimètres et asbeste.

Éprouvette : chlorure de barium.

Résultats : endosmose dans le tube ; sulfate de baryte dans le tube.

26e expérience.

Tube : sulfate de soude et tournesol.

Cloison : colonne de sable de quatre centimètres avec asbeste.

Résultats : endosmose dans le tube, sans exosmose de la couleur ; aucun produit formé.

27e expérience.

Tube : nitrate de chaux et curcuma.

Cloison : papier-parchemin.

Éprouvette : sulfate de soude.

Résultats sans sortie de la couleur ; stalactites de double sulfate dans le tube.

28e expérience.

Tube : chlorure de barium et bois de campêche.

Cloison : papier.

Éprouvette : sulfate de soude.

Résultats : endosmose dans le tube ; légère exosmose de la couleur ; stalactites de double sulfate dans l'éprouvette.

29e expérience.

Tube : sulfate de soude.

Cloison : colonne de charbon animal, de 2 cent. 50 de hauteur, solution de sulfate de soude colorée à saturation par le tournesol.

Éprouvette : nitrate de chaux.

Résultats : forte endosmose dans le sulfate de 1 cent. 50 en moins de 2 heures, dans une direction opposée à celle qui est produite en prenant

pour cloison le papier-parchemin. Le double sulfate cristallisé a également lieu dans le sulfate de soude; il n'y a donc de changé que le sens de l'endosmose.

30e *expérience.*

En changeant de place les solutions, les effets sont inverses, comme il était facile de le prévoir.

31e *expérience.*

En remplaçant le charbon animal recouvert de tournesol par le même charbon recouvert de curcuma, les effets sont les mêmes, mais l'endosmose est beaucoup moins forte. On peut l'évaluer au quart environ.

32e *expérience.*

Mêmes préparations que dans les deux dernières expériences, si ce n'est que le charbon n'est pas recouvert de matière colorante; les effets sont les mêmes, mais ils sont moins marqués.

Les expériences précédentes mettent bien en évidence non seulement le défaut d'homogénéité des membranes, puisque l'on trouve à leur surface des stalactites qui n'ont pas le même diamètre, mais encore le mode d'action des matières colorantes dans les phénomènes d'endosmose et autres.

Les actions électro-capillaires, telles que je les ai décrites dans ce mémoire, montrent que dans les recherches chimiques ayant pour but la reproduction de divers composés de l'organisme sous l'empire de la vie, il est nécessaire de prendre en considération, indépendamment de la diffusion et



de l'hygroscopicité des membranes, l'influence des courants électro-capillaires qui est souvent si déterminante pour opérer les phénomènes d'oxydation, de réduction et autres et que l'on a négligés jusqu'ici, par cela même que l'on ignorait leur mode d'intervention.

Je reviens un instant sur les couples électro-capillaires à l'aide desquels on réduit de leurs dissolutions les métaux à l'état métallique. Ces couples se composent d'un tube fêlé contenant une dissolution métallique et plongeant dans une solution de monosulfure alcalin; l'électricité dégagée au contact des deux dissolutions l'une sur l'autre, dans l'espace capillaire qui constitue la fente, se transforme en courant par l'intermédiaire des parois de cet espace, lequel opère la décomposition du sel métallique.

On peut remplacer le monosulfure alcalin, quand il s'agit de décomposer le chlorure d'or, par une solution d'acide oxalique ou d'acide gallique. Cette réduction est due à la force électro-motrice considérable qui se manifeste au contact de ces deux liquides.

Les phénomènes décrits dans ce mémoire montrent que, pour les interpréter, il faut prendre en considération : 1° les affinités; 2° le pouvoir de diffusion des solutions si bien exposé par M. Graham; 3° le pouvoir hygroscopique des membranes; 4° l'influence des espaces capillaires sur la production des courants électriques, agissant comme forces physiques et comme forces chimiques, courants provenant de la réaction des liquides en contact les uns sur les autres et peut-être sur les cloisons; 5° enfin, l'endosmose peut avoir lieu sans qu'on ait recours, pour l'expliquer, à la troisième condition.

En terminant ce mémoire, je répondrai à une objection qui m'a été faite sur l'une des causes auxquelles j'attribue les phénomènes dont j'ai l'honneur d'entretenir l'Académie depuis un an. On a prétendu que ces phénomènes dépendaient de la capillarité et nullement de l'électricité. On s'est appuyé à cet égard sur le principe que j'avais avancé en 1826, qu'il n'y avait pas d'électricité dégagée dans les doubles décompositions; à cette époque on n'employait que des appareils qui n'avaient pas la sensibilité voulue pour constater la présence de l'électricité dans les doubles décompositions. Mais aujourd'hui il n'en est plus ainsi avec les appareils dont on dispose, comme je l'ai dit dans la deuxième partie de ce mémoire, car on trouve de l'électricité libre dans cette double action.

Il peut se faire que le principe que j'ai posé il y a plus de quarante ans soit vrai dans quelques cas, c'est-à-dire qu'il y ait recomposition et neutralisation des électricités devenues libres dans les doubles décompositions, mais rien ne prouve que les molécules elles-mêmes ne servent pas comme les parois des espaces capillaires à la recomposition des deux électricités; l'appareil accuserait alors la présence de celles qui auraient échappé à la recomposition immédiate.

SIXIÈME MÉMOIRE

SUR

LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES

LA FORMATION DES OXYDES, DES SILICATES, ALUMINATES CRISTALLISÉS ET HYDRATÉS, ET LES EFFETS DE DIFFUSION ENTRE DES LIQUIDES QUI NE SE MÉLANGENT PAS.

PAR M. BECQUEREL
Membre de l'Institut.

Lu dans la séance du 30 novembre 1868.

Dans mes recherches sur les phénomènes électro-capillaires, dont j'ai déjà eu l'honneur d'entretenir l'Académie à diverses reprises, depuis le mois de juin 1867, j'ai prouvé que la couche liquide infiniment mince, adhérant aux parois des espaces capillaires qui séparent deux liquides différents, se comporte comme un corps solide conducteur à l'égard des deux électricités devenues libres, pendant la réaction chimique des deux liquides l'un sur l'autre, dans ces mêmes espa-

ces ; il en résulte alors un couple électro-chimique, donnant lieu à un courant que j'ai nommé *électro-capillaire*, pour rappeler son origine, et dont l'énergie est suffisante pour réduire de leurs dissolutions les métaux à l'état métallique, et produire, avec le concours d'autres causes, un grand nombre de combinaisons et de décompositions dont j'ai eu l'honneur d'entretenir l'Académie à diverses reprises : la réduction métallique surtout ne saurait être expliquée sans l'intervention de l'électricité.

Il n'y a donc de différence entre les couples voltaïques ordinaires et les couples dont il est question ici qu'en ce que, dans ces derniers, le corps solide, conducteur de l'électricité, est remplacé par la couche liquide infiniment mince qui adhère aux parois des cavités capillaires, et dont la constitution moléculaire n'est pas la même que celle du liquide adjacent qui n'est pas soumis à l'action attractive de ces parois.

Ce Mémoire renferme la suite des recherches que j'ai faites en vue de nouvelles applications du principe électro-capillaire : applications dont il est difficile d'apercevoir le terme, attendu qu'elles s'étendent aux trois règnes de la nature. Ces applications et les déductions qu'on en tire mettent sur la voie, comme je l'ai déjà dit, du mode d'intervention des forces physico-chimiques dans les phénomènes de la vie, puisque les corps organisés sont composés de membranes, de tissus séparant des liquides différents, et donnant lieu à des actions électro-capillaires qui concourent, avec d'autres forces physiques, à produire des réactions chimiques.

Le couple électro-capillaire est tellement constitué, que la face de la membrane ou du tissu qui est en contact avec le

liquide, jouant le rôle d'acide par rapport à l'autre, est le pôle négatif, et l'autre le pôle positif. Cet état de choses subsiste dans les corps organisés tant que les tissus n'éprouvent aucun changement, mais aussitôt qu'il s'opère un relâchement dans leurs parties, les espaces capillaires deviennent plus grands, les effets électro-capillaires et autres résultant de l'action des forces physiques diminuent et finissent par disparaître; les forces chimiques dominent alors seules, et la désorganisation finit par devenir complète : tel est le point de vue sous lequel on doit envisager le mode d'intervention des forces électro-capillaires dans les phénomènes de la vie.

Pour expliquer les effets produits, il faut prendre, en outre, en considération : 1° le pouvoir hygroscopique de la cloison capillaire pour chaque liquide; 2° le pouvoir diffusif de chacun d'eux; 3° leur affinité réciproque ; 4° l'état électrique de chaque liquide; 5° la faculté que possèdent leurs parties constituantes de traverser plus ou moins facilement la cloison, suivant sa perméabilité et d'où résultent les effets du dialyse.

Dans ce Mémoire , j'expose d'abord le procédé à l'aide duquel on obtient les oxydes, les silicates, les aluminates cristallisés, hydratés. L'appareil se compose d'un vase contenant une dissolution métallique dans laquelle plonge le bout d'un tube ou le col d'un flacon à large ouverture, fermé avec une double bande de papier parchemin, préparé avec le papier à analyse, dit de *Berzelius ;* ce flacon renferme une dissolution alcaline de l'oxyde et est renversé par son col dans l'autre dissolution. Les deux liquides dans leur contact, par l'intermédiaire du papier parchemin, produisent un courant électro-capillaire énergique, vu la force électro-motrice très-

grande des deux liquides, dont l'action, concurremment avec les causes précédemment indiquées, produit les composés que l'on vient d'indiquer.

Le but que je me suis proposé n'est pas précisément de chercher à multiplier la formation des composés, mais bien de faire connaître les principes sur lesquels repose leur mode de production, et les conséquences qui en découlent pour les sciences physico-chimiques.

En opérant avec une dissolution d'aluminate de potasse et une autre de chlorure de chrome, l'une et l'autre concentrées, on obtient sur la face positive, sur celle qui est en contact avec la dissolution alcaline, de petits dépôts tuberculeux ou des lames cristallines d'alumine hydratée, et sur la face négative des lames vertes transparentes, ayant un aspect cristallin de sexquioxyde hydraté de chrome.

Le dépôt d'alumine, vu au microscope avec un système de prismes de Nichol paraît composé de cristaux prismatiques terminés par des pyramides douées de la double réfraction. Ces cristaux, chauffés au rouge naissant, perdent leur eau de combinaison et cessent d'être bi-réfringents. L'analyse a donné les résultats suivants :

Eau.........	36,190
Alumine.....	63,809
	99,999

Ce composé a pour formule

$$Al^2O^3, 3HO.$$

Ce produit est donc de l'alumine cristallisé à trois équivalents d'eau, il est analogue au minéral appelé gibsite.

En traitant ce produit à la température de l'ébullition avec les acides sulfurique et chlorhydrique, l'alumine est deshydratée, mais non dissoute, tandis qu'une dissolution de potasse bouillante la dissout. Cette substance, quoique ayant de la dureté, ne raye pas le verre. La substance déposée sur la face négative est du sesquioxyde hydraté de chrome, doué d'un aspect cristallin, et dans un état moléculaire différent de celui que l'on obtient en versant une dissolution d'aluminate de potasse dans une dissolution de chlorure de chrome.

En remplaçant le chlorure de chrome par de l'acide chlorhydrique étendu de son volume d'eau, il se forme assez promptement sur la face positive des lames transparentes ayant un aspect cristallin. Un décigramme convenablement desséché, porté à la température rouge, a perdu 33,5 pour 100 d'eau ; ce qui indique que ce produit est de l'alumine à 3 équivalents d'eau.

En substituant le nitrate de cuivre au chlorure de chrome, on a obtenu en peu de temps des résultats analogues ; puis du sous-nitrate de cuivre, des cristaux d'oxyde hydraté bleu de cuivre contenant fréquemment des cristaux de silicate de ce métal. Ces produits se forment particulièrement lorsque les deux dissolutions sont concentrées, et sans excès de potasse d'un côté et d'acide de l'autre : car si la potasse n'est pas saturée d'alumine, lorsque l'acide chlorhydrique traverse la cloison par suite des diverses actions mises en jeu, il sature l'alcali, et il ne se dépose pas d'alumine; si l'autre dissolution, au contraire, contient un excès d'acide, des effets analogues sont produits.

Dans ces expériences on s'est borné à composer le dia-

phragme de deux bandes de papier parchemin ; mais si l'on veut produire des effets plus lents il faut augmenter le nombre des diaphragmes ; leur porosité exerçant une influence sur les effets produits et variant souvent, non-seulement d'une bande à une autre, mais encore dans la même bande, on arrive à une plus grande uniformité en composant la cloison de cinq à six bandes de papier parchemin et même plus.

On explique comme il suit la production de ces composés : au contact des deux dissolutions dans les interstices de la cloison, il se produit, comme on l'a dit précédemment, un courant électro-capillaire dont l'action est telle, que les deux faces de la cloison représentent les deux pôles d'un couple ; les deux dissolutions sont décomposées électro-chimiquement ; dans la dissolution alcaline, l'alumine, qui joue le rôle d'acide, se dépose en cristaux sur la face positive en contact avec cette dissolution, tandis que l'oxyde de chrome ou l'oxyde qui joue le rôle de base, se dépose sur la face négative. Le chlore se rend sur la face positive dans la dissolution alcaline et se combine avec la potasse. On voit par là qu'il y a une différence bien tranchée entre l'action qui a lieu entre deux dissolutions qui agissent lentement l'une sur l'autre, et celle qui s'opère par l'intermédiaire d'une cloison. Dans le premier mode, les produits formés sont dus à une double décomposition. Dans le second, il n'en est pas ainsi : il se forme deux produits qui sont en général cristallisés et séparés par la cloison ; le premier sur l'une des faces de la cloison séparatrice, l'autre sur la seconde face ; les effets sont analogues à ceux que l'on obtient avec les mêmes appareils quand on opère d'un côté avec une dissolution

métallique, de l'autre avec une dissolution de monosulfure de sodium : au lieu d'avoir un sulfure de cuivre s'il y avait une double décomposition, on obtient sur la face négative le métal réduit en dendrites, dont la production, nous le répétons, ne peut être expliquée que par l'intervention d'un courant électro-capillaire, puis de l'oxyde quand le courant électrique est devenu très-faible, par suite de l'épuisement des dissolutions.

Avec les dissolutions d'aluminate et de sels métalliques il n'y a pas de réduction métallique, attendu que la force électro-motrice est moindre que celle que donnent dans leur contact les dissolutions de monosulfures alcalins avec les dissolutions métalliques. Nous reviendrons dans le prochain mémoire sur les forces électro-motrices des liquides employés et sur leurs rapports.

Les phénomènes de dialyse interviennent probablement ici; surtout quand les chlorures, les nitrates alcalins sont produits par suite de la décomposition des sels métalliques; il y a alors passage de ces sels au travers de la cloison; mais dans les premiers moments il serait difficile de l'admettre, attendu que les deux dissolutions, en se rencontrant dans la cloison, donneraient lieu à un précipité non cristallisé.

En opérant avec des dissolutions de zincate et de plombate de potasse, et de nitrate de cuivre, on a des effets semblables, c'est-à-dire qu'on obtient des oxydes cristallisés; il en est de même avec une dissolution de chlorure d'antimoine et une autre d'aluminate de potasse.

En substituant le silicate de potasse à l'aluminate de la même base, il se forme des produits analogues; il se dépose peu à peu sur la face positive, sur celle qui est en contact

avec la dissolution alcaline, de la silice hydratée en lames très-transparentes, rayant le verre, solubles dans la potasse et ne possédant pas la double réfraction ; ce dépôt acquiert immédiatement ces deux propriétés physiques, sans éprouver de dessiccation, comme la silice en gelée exposée longtemps à l'air. Cette couche transparente, qui a peu d'épaisseur, est adhérente à la cloison ; la silice déposée au-dessus devient peu à peu opaque, et, au delà d'une certaine épaisseur, la silice n'a plus de cohérence, elle a la consistance de gelée ; cette couche mince de silicate transparente prend peu à peu un aspect opalin et redevient transparente en la plongeant dans l'eau ; cette silice a de l'analogie avec l'hydrophane décrit par Ebelmen.

Quand on opère avec le nitrate de cuivre, il se dépose sur la face négative une croûte de couleur bleue dont on a déjà parlé plus haut, qui, bien que très-dure, ne raye pas le verre ; broyée et lavée à grande eau, on recueille des fragments cristallisés, qui, vus au microscope, paraissent composés d'aiguilles bleuâtres, allongées, ayant des sommets rhomboédriques, forme qui s'accorde assez avec celle de la dioptase, dont la composition est :

Silice	38,93
Oxyde de cuivre	49,51
Eau	11,27
	99,71

Ces aiguilles, desséchées dans le vide, donnent de l'eau ; chauffées au rouge dans un tube de verre fermé par un bout, et traitées par les acides, laissent un résidu gélatineux de

silice. Ces divers caractères tendent donc à prouver également que le produit obtenu est semblable au silicate hydraté de cuivre de la nature appelé *dioptase*.

Ce produit se forme quelquefois dans les pores de la cloison du papier quand la silice s'y introduit; mais, dans les cas ordinaires, on n'a que des cristaux bleus d'oxyde hydraté de cuivre.

En substituant une dissolution de potasse à celle d'un sel alcalin, on a obtenu également sur la face négative un oxyde hydraté cristallisé de cuivre.

Les effets dont on vient de parler varient, comme il est facile de le concevoir, suivant la constitution de la cloison, c'est-à-dire selon qu'elle est plus ou moins encroûtée de dépôts; car il arrive un instant où l'encroûtement est tellement épais, que tous les effets cessent; mais avant d'arriver à ce terme on a l'avantage d'observer les effets dus à des forces dont l'action va sans cesse en diminuant.

Lorsqu'on met en contact une dissolution de chlorure de cobalt avec une autre de potasse, sans cloison intermédiaire, il se forme un oxyde bleu de cobalt sous forme de précipité non cristallin; mais lorsque l'expérience se fait en interposant le papier parchemin, le précipité sur la surface négative est encore bleu, mais il est cristallin, et les cristaux dont la forme est indéterminable sont doués de la double réfraction; cet effet est du même ordre que les précédents.

En opérant avec une dissolution saturée de silicate de potasse à 2 degrés aérométriques, la silice ne se précipite plus en plaques transparentes, mais en gelée.

En substituant le plombate de potasse au silicate de potasse et conservant le nitrate de cuivre, on obtient sur la

face positive du protoxyde de plomb hydraté, cristallisé, mélangé avec une petite quantité de carbonate, et sur l'autre face de l'oxyde hydraté cristallisé et amorphe. La partie cristallisée est bleue et la partie mamelonnée verte; l'une et l'autre se dissolvent dans les acides faibles sans laisser de résidu, il se dégage seulement quelques bulles d'acide carbonique.

En répétant les mêmes expériences dans une étuve chauffée de 50 à 80 degrés, les effets produits présentent quelques différences avec ceux obtenus à la température ordinaire; les composés formés sont plus réguliers; les petits tubercules cristallins d'alumine recouvrent parfois toute la face positive de la cloison; les tubercules sont tellement serrés les uns contre les autres, que le papier parchemin, qui finit par s'altérer, ne fonctionne plus. D'autres fois, quand la température est plus élevée, on n'aperçoit plus de tubercules, la bande supérieure de la cloison devient d'un blanc de neige, effet dû à la présence d'un nombre considérable de cristaux d'alumine hydratée.

Lorsque l'on soumet à l'action d'une pile à 5 éléments à sulfate de cuivre les appareils précédemment décrits, en plaçant la lame négative dans la dissolution d'aluminate de potasse et la lame positive dans une autre de chlorure de chrome, il ne se forme aucun dépôt dans la dissolution alcaline ni sur la lame, ainsi que sur la cloison, tandis qu'il se produit un dépôt considérable d'oxyde hydraté de chrome, non-seulement sur la lame positive, mais encore sur la face de la cloison contiguë. En opérant inversement, il n'y a aucun dépôt dans la dissolution de chlorure, et un dépôt d'alumine dans celle de l'aluminate. Tels sont les

effets produits dans l'espace de quarante-huit heures avec la pile.

Les divers produits dont je viens d'indiquer la formation contiennent quelquefois une petite quantité de potasse provenant de la dissolution au milieu de laquelle ils ont été formés.

Je mentionnerai un cas d'endosmose assez remarquable, qui a eu lieu au contact du silicate, ou de l'aluminate de potasse, et du sulfure de carbone, avec ou sans l'intermédiaire du papier parchemin, attendu que les deux liquides ne se mélangent pas.

M. Graham a reconnu qu'une couche plus ou moins épaisse d'albumine pouvait remplacer le papier parchemin dans le phénomène de la dialyse, sans que l'albumine fût altérée ; ce phénomène est purement physique. J'ai cherché quels étaient les effets produits quand la substance qui sert de diaphragme réagit sur le liquide avec lequel elle est en contact et lorsque les deux liquides ne se mélangent pas. J'ai pris à cet effet pour diaphagme le sulfure de carbone et pour le second liquide l'aluminate de potasse marquant 10 degrés à l'aréomètre. On a mis du sulfure dans un flacon, dit *col droit,* fermé avec une double enveloppe de papier parchemin; le sulfure de carbone ainsi renfermé ne pouvait s'évaporer ; puis on a plongé le col renversé dans la dissolution alcaline ; le niveau était le même dans les deux liquides ; la dissolution alcaline a traversé peu à peu la cloison en papier, puis le sulfure de carbone, sur lequel elle a réagi ; il s'est formé alors du sulfocarbonate, qui est venu surnager à la surface du sulfure de carbone, attendu d'une part que les deux liquides ne se mélangent pas, de l'autre que le sulfure

de carbone a une densité plus grande que celle de la nouvelle dissolution formée ; la couleur de celle-ci devient plus foncée à mesure que la quantité de sulfocarbonate augmente. L'alumine, n'étant plus retenue par la potasse qui entre dans une nouvelle combinaison, se précipite sur la cloison et sur les parois du vase. L'alumine obtenue ainsi est l'hydrate cristallisé à trois équivalents d'eau.

En supprimant le papier parchemin, les deux liquides sont encore superposés ; le sulfure de carbone occupe la partie inférieure à cause de sa densité plus forte que celle de la dissolution alcaline ; celle-ci-réagit sur le sulfure de carbone, d'où résulte du sulfocarbonate, qui se diffuse peu à peu dans la dissolution ; il y a également précipitation d'alumine.

On voit, en résumé, que si la chimie recherche les effets résultant des affinités qui se manifestent au contact des liquides, en prenant en considération les diverses causes qui influent sur leur action, elle doit avoir égard également à l'influence qu'exercent les tissus ou espaces capillaires de nature quelconque quand ils séparent deux liquides différents.

Quelques personnes ont pensé que je voulais faire dépendre les phénomènes d'attraction moléculaire de l'électricité, mais, en terminant, je demande la permission à l'Académie de lui rappeler que je n'ai jamais partagé les vues théoriques des partisans de l'origine électrique de l'affinité ; je les ai, au contraire, combattues et, j'ose le dire, avec succès, comme l'Académie va le voir dans le précis historique que je vais lui présenter des recherches qui ont été faites à ce sujet.

Dans mon *Traité de l'électricité et du magnétisme*, en 7 volumes, se trouve le passage suivant, t. I, page 162 et suivantes :

« La discussion des diverses théories de la pile et de ses propriétés chimiques conduisit de nouveau les physiciens à rechercher si les affinités ne pourraient pas être attribuées à l'action des forces électriques.

« Quelle est la cause qui attire les molécules et les tient unies les unes aux autres dans les combinaisons? C'est là une de ces grandes questions dont on cherche depuis longtemps la solution sans avoir eu encore le bonheur de la trouver. Cette cause est-elle électrique ou non? Toutes les découvertes modernes tendent à lui donner une origine électrique. Voyons les tentatives qui ont été faites pour établir ce rapprochement.

« Je passe sous silence les opinions émises à ce sujet, par Franklin, Priestley, l'abbé Nollet, Ritter, etc.

« Œrsted, en 1799 et 1800 (*Recherches sur l'identité des forces chimiques et électriques*, traduit de l'allemand par Marcel de Serres, 1813), a déduit comme conséquence de sa théorie, que les affinités, la chaleur, la lumière et le magnétisme étaient dus à des actions électriques. Ce sont ces mêmes idées qui le conduisirent plus tard à découvrir l'action d'un courant électrique sur une aiguille aimantée librement suspendue.

« La science en était arrivée à ce point que l'on ne savait quelle théorie adopter pour expliquer les actions chimiques, ainsi que les phénomènes de chaleur et de lumière qui les accompagnent. Davy entreprit de résoudre cette question.

« Il commença par chercher (*Phil. transact.*, v. XCI, p. 397) au moyen d'instruments très-délicats l'état électrique d'une solution acide et d'une solution alcaline simple, isolées, après leur contact avec les métaux, mais les résultats ne furent pas



satisfaisants. Il ne s'était pas mis, il faut le dire, dans des conditions voulues pour rendre sensible le dégagement d'électricité dans les actions chimiques. Il n'en fut pas de même quand il expérimenta, avec des substances acides et alcalines qui peuvent exister sous la forme solide et sèche, attendu que ces acides secs n'étant pas conducteurs de l'électricité, ne sauraient dégager de l'électricité dans le contact. L'effet qu'il obtint provenait du frottement de ces acides sur le cuivre quand il les posait et les retirait.

« Les acides oxalique, succinique, benzoïque, etc., parfaitement secs, soit en poudre, soit en cristaux, dans leur contact avec le cuivre, prirent l'électricité négative, et le métal l'électricité positive. L'acide phosphorique à l'état solide, qui avait été fortement chauffé et conservé avec soin hors du contact de l'air, rendit positif un plateau de zinc isolé.

« Lorsqu'il mit des disques métalliques en contact avec la chaux sèche, la strontiane ou la magnésie, le métal devint négatif. La potasse ne donna dans aucun cas un résultat satisfaisant ; il en attribua la cause à la forte attraction pour l'eau. La soude se comporta dans un seul cas seulement comme les autres bases. A l'aide de ces expériences, il en tira les conséquences suivantes : « Les substances qui se combinent chimiquement, toutes celles dont l'énergie électrique est bien connue présentent des états opposés. Ainsi le cuivre et le zinc, l'or et le mercure, le soufre et les métaux, et les substances acides et alcalines donnent des exemples conformes à ce principe. En supposant donc une liberté parfaite dans le mouvement de leurs particules, elles doivent s'attirer l'une l'autre en vertu de leurs pouvoirs électriques ; et si ces pouvoirs sont exaltés, pour leur donner une force attractive su-

périeure au pouvoir de l'agrégation, il se formera une combinaison qui sera plus ou moins forte suivant que les énergies seront plus ou moins parfaitement balancées; alors il se produira de la chaleur et de la lumière par la réunion des deux électricités. »

Cette théorie repose sur des faits inexacts (*Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. V, 2e part., p. 5). Davy s'est appuyé sur les effets électriques de contact obtenus avec les acides oxalique, succinique, etc., bien secs et le cuivre, qui en réalité ne sont que des effets électriques de frottement.

Berzélius, sans discuter la valeur des bases de la théorie de Davy, chercha à expliquer pourquoi les atomes des corps restaient unis les uns aux autres dans les combinaisons. Il a admis, à cet effet, que les atomes des corps possèdent une certaine polarité électrique et une différence d'intensité dans l'action de chaque pôle. D'après cela, les corps seraient, selon lui, électro-positifs ou électro-négatifs dans les combinaisons, selon que l'un ou l'autre pôle prédominerait. Il a discuté ces deux points : comment l'électricité se trouve-t-elle dans les corps? comment un corps est-il électro-positif ou électro-négatif, ou tantôt l'un et tantôt l'autre?

Après quoi il a été conduit à assimiler les atomes à la tourmaline, sous le rapport de la polarité électrique, dont le degré de polarité dépend beaucoup de la température qui accroît son intensité et dont les modifications lui font subir différents changements; qu'une combinaison ne peut s'effectuer qu'autant que les particules polarisées d'un des deux corps ou des deux corps se meuvent avec assez de facilité pour

qu'elles tournent leurs pôles opposés, ce qui exige que l'un des corps, au moins, soit à l'état liquide, condition qui est indispensable pour qu'une combinaison puisse s'effectuer.

Berzélius (*Traité de chimie*, 1re édition), en parlant de la force de cohésion, se borne à dire qu'il est probable que les atomes des corps conservent après leur combinaison un certain degré de polarité et cherchent à se joindre par leurs pôles opposés.

Berzélius ne se dissimule pas les difficultés que l'on rencontre, en s'appuyant sur la théorie électro-chimique pour expliquer l'inégalité de cohésion dans les différents corps, ou dans le même corps, suivant diverses circonstances, ainsi que la dureté, la ductilité, la ténacité et même l'état gazeux. Il avoue qu'il ne voit pas comment on pourrait expliquer tous ces effets, en s'appuyant sur l'électricité considérée comme force première et universelle.

Cette théorie, comme celle de Davy, n'explique pas pourquoi les atomes restent accolés les uns aux autres dans les combinaisons ; c'est cette difficulté qu'Ampère a essayé de résoudre dans une lettre qu'il a adressée à M. Vanbeck (*Journal de physique*, 1821). Il admet que les atomes des corps possèdent chacun une électricité propre qu'ils ne peuvent perdre sans cesser d'exister, et en vertu de laquelle ils restent unis dans la combinaison ; mais, comme des corpuscules électrisés ne pourraient rester sans exercer d'action sur les corps environnants, Ampère suppose que leur électricité réagit sur celle de l'espace, attire celle de nom contraire et repousse l'autre de manière à transformer les atomes en véritables bouteilles de Leyde. Une combinaison a-t-elle lieu entre un corps électro-positif et un corps électro-néga-

tif, les atomes se débarrassent de leurs atmosphères et restent unis les uns aux autres, en vertu de l'attraction de leurs électricités contraires, propres à leur nature. Le contact est-il suivi d'une décomposition chimique, les atmosphères se recombinent encore ; mais, comme les atomes ne peuvent s'en passer, ils réagissent sur l'électricité de l'atmosphère, attirent celle de nom contraire et repoussent l'autre de manière à produire des phénomènes électriques inverses de ceux qui ont lieu dans les combinaisons. Cette théorie, quoique très-ingénieuse, présente des difficultés qui n'ont pas encore été toutes résolues. Elle ne montre pas, par exemple, comment deux corps qui sont électro-positifs, par rapport à un troisième, peuvent se combiner ensemble. Il faudrait alors admettre qu'il n'existe qu'un seul fluide ou que les atomes possèdent de l'électricité naturelle outre leur électricité propre.

Berzélius, malgré les objections que l'on a faites à sa théorie électro-chimique et à celle du contact, n'a abandonné ni l'une ni l'autre. Voici en quels termes il s'exprime sur la polarité électrique dans la dernière édition de son *Traité de chimie*, t. I, p. 72 : « La polarité, dit-il, consiste en ce que les dynamides séparées s'accumulent dans un corps à deux points opposés que nous appelons pôles. » Ces quatre agents dynamiques sont : la chaleur, la lumière, l'électricité et le magnétisme. « Ces deux points peuvent être des points plus « ou moins grands, suivant la forme du corps et la disposi- « tion que la polarisation y a prise, etc., etc. » Je m'arrête dans la citation, car il est bien difficile d'admettre *à priori* que les quatre dynamiques, appelées jadis les quatre agents impondérables, la chaleur, la lumière, l'électricité et le magnétisme se condensent en deux points différents dans cha-

que atome ; alors que tous les faits observés jusqu'ici tendent à montrer que ces quatre agents dérivent d'un principe éthéré qui éprouve différents modes d'oscillation, peut-être aurait-il été plus rationnel d'admettre que ce principe éthéré est plus condensé à des degrés différents, en deux points, dans chaque atome que dans tous les autres points. Cette théorie n'explique pas, je le répète, pourquoi les atomes restent unis dans la combinaison. Toute la question est là.

Depuis cinquante ans que je m'occupe sans interruption des sciences physico-chimiques ; je me suis attaché à rechercher les causes mécaniques chimiques, physiques et physiologiques qui troublent l'équilibre des forces électriques dans les corps, et à provoquer, au moyen de ces forces, des actions chimiques plus ou moins lentes pouvant servir à l'étude de la géologie et de la physiologie. Dans ces recherches, je n'ai jamais dit une seule fois que l'affinité eût une origine électrique, bien au contraire, j'ai toujours pensé qu'elle dérivait de l'attraction générale, la chaleur et l'électricité n'étant que des effets de son action, lesquels effets pouvaient devenir causes. Telle a toujours été la route que j'ai suivie.

Dans mes recherches sur les phénomènes électro-capillaires, je n'en ai pas dévié non plus en étudiant le dégagement de l'électricité dans les espaces capillaires qui séparent deux liquides différents, j'ai prouvé que la couche liquide infiniment mince qui adhère aux parois de ces espaces se comporte comme un corps solide conducteur à l'égard des deux électricités devenues libres dans la réaction chimique des deux liquides qui sont introduits par l'action capillaire, d'où résulte un couple donnant lieu à un courant que j'ai appelé électro-capillaire, pour rappeler son origine, agissant comme

force chimique, et dont l'énergie est suffisante pour réduire à l'état métallique les métaux de leurs dissolutions, et produire en même temps un grand nombre d'actions chimiques n'existent pas.

Il n'y a donc de différence entre les couples voltaïques ordinaires et les couples dont il est question ici, qu'en ce que, dans ces derniers, le corps conducteur solide est remplacé par un corps conducteur liquide infiniment mince, adhérant à la surface des corps en vertu de l'affinité capillaire et qui se trouve dans un état moléculaire différent du liquide contigu. Tels sont les principes qui me dirigent dans l'étude des phénomènes électro-capillaires qui me conduit journellement à la découverte de faits nouveaux.

MÉMOIRE

SUR LA

DISTRIBUTION DE LA CHALEUR

AU-DESSOUS DU SOL

PAR M. BECQUEREL
Membre de l'Institut.

Lu dans la séance du 14 décembre 1868.

La distribution de la chaleur, dans l'écorce du globe, est une question importante de physique terrestre qui a occupé Fourier, Arago et plusieurs observateurs habiles qui ont réuni un grand nombre de faits relatifs à cette question; on a admis, et cela est le point de départ de la théorie mathématique de Fourier, qu'en moyenne, sous nos latitudes, l'accroissement de température, à partir de la couche invariable est de 1° par 30 mètres. On a pris pour couche invariable les caves de l'Observatoire dont la température n'éprouve pas de sensibles variations depuis un assez grand laps de temps, sans chercher si d'autres parties du terrain parisien moins profondes n'étaient pas dans la même condition. On n'a pas cherché non plus s'il existait des causes perturbatrices, constantes ou non, qui influaient continuellement

sur la température des couches terrestres; mais, il faut le dire aussi, on n'avait pas les instruments nécessaires pour faire ces recherches; on ne disposait que de thermomètres à maxima introduits temporairement dans des puits forés en cours d'exécution, où se rendaient des eaux provenant des couches supérieures et n'ayant pas la même température, conditions très-défavorables pour avoir des observations précises, se rapportant à des couches déterminées. Ce sont ces questions que j'ai essayé de résoudre à l'aide du thermomètre électrique dont j'ai donné la description dans mon premier Mémoire sur la température des couches terrestres, instrument qui permet de faire des observations très-précises, au-dessus et au-dessous du sol à des hauteurs ou à des profondeurs plus ou moins considérables, sans qu'il soit nécessaire que l'observateur soit placé dans le lieu dont on cherche la température. Ces instruments, sous ce rapport, sont très-précieux.

Dans mon précédent Mémoire sur la chaleur terrestre (Mémoire de l'Académie des Sciences, t. XXXVI, et Comptes-rendus, t. LX, p. 186), j'ai exposé le résultat des observations faites en 1864, 1865 et 1866, depuis 1 mètre jusqu'à 36 mètres au-dessous du sol, au Jardin des plantes. Dans le Mémoire que je présente aujourd'hui à l'Académie, je rapporte les observations recueillies en 1867 et 1868, qui ont été mises en regard des précédentes, afin de montrer jusqu'à quel point elles s'accordaient, en ayant égard surtout au déplacement du zéro du thermomètre étalon qui n'est fixe que depuis deux ans.

Pendant les trois premières années susmentionnées, la empérature observée de 5 mètres en 5 mètres a été en

augmentant jusqu'à 36 mètres, comme en 1867 et 1868, à de très-légères différences.

Dans ce Mémoire se trouvent cinq tableaux renfermant les observations groupées de manière à mettre en évidence les conséquences qui en découlent, non-seulement des trois premières années, mais encore de celles des deux dernières; on trouvera ci-après ces cinq tableaux.

TEMPÉRATURE MENSUELLE DE L'ANNÉE 1867.

MOIS.	1 mètre.	6 mètres.	11 mètres.	16 mètres.	21 mètres.	26 mètres.	31 mètres.	36 mètres.
1866.								
Décembre. . .	9°230	12°717	11°950	11°850	12°050	12°237	12°450	12°550
1867.								
Janvier. . . .	7,334	12,425	11,900	11,850	12,050	12,050	12,450	12,550
Février. . . .	6,580	11,616	11,700	11,700	11,900	12,108	12,250	12,400
Mars.	7,213	11,185	11,700	11,700	11,900	12,014	12,250	12,400
Avril.	8,600	10,887	11,700	11,775	11,900	12,125	12,250	12,400
Mai.	10,500	10,741	11,760	11,891	11,900	12,270	12,250	12,400
Juin.	12,630	10,983	11,821	11,900	11,900	12,342	12,250	12,400
Juillet.	14,570	11,416	11,940	11,957	11,900	12,425	12,250	12,400
Août.	15,310	11,880	12,025	12,040	11,940	12,504	12,250	12,400
Septembre. . .	16,857	12,414	12,000	12,050	11,950	12,438	12,250	12,400
Octobre. . . .	14,760	11,940	11,885	11,945	11,950	12,250	12,250	12,400
Novembre. . .	12,500	13,112	12,044	11,900	11,950	12,162	12,250	12,400
Moyennes. . .	11,290	11,776	11,875	11,885	11,941	12,242	12,283	12,424

TEMPÉRATURE MENSUELLE DE L'ANNÉE 1868.

MOIS.	36 mètres.	31 mètres.	26 mètres.	21 mètres.	16 mètres.	11 mètres.	6 mètres.	1 mètre.
1867.								
Décembre. . .	12°400	12°250	11°960	11°950	11°900	11°960	12°930	9°760
1868.								
Janvier. . . .	Id.	Id.	11,875	11,950	11,862	11,962	12,462	7,490
Février. . . .	Id.	Id.	12,116	11,950	11,875	12,033	11,808	5,808
Mars.	Id.	Id.	12,180	11,970	11,950	11,950	11,180	6,800
Avril.	Id.	Id.	12,160	12, »	11,960	11,930	10,850	8,070
Mai.	Id.	Id.	12,445	12, »	12,070	11,980	10,820	9,800
Juin.	Id.	Id.	12,562	12,038	12,212	12,050	10,987	13,850
Juillet.	Id.	Id.	12,680	12,000	12,280	12,090	11,470	15,990
Août.	Id.	Id.	12,660	12,050	12,242	12,100	12,190	17,860
Septembre. . .	Id.	Id.	12,550	12,100	12,130	12,100	12,825	17,860
Octobre. . . .	Id.	Id.	12,340	12,100	12,100	12,100	13,340	16,020
Novembre. . .	Id.	Id.	12,120	12,100	12,100	12,280	13,530	13,100
Moyennes. . .	12,400	12,250	12,305	12,000	12,057	12,044	12,044	11,823

TEMPÉRATURES MOYENNES DE 1867 ET 1868.

PROFONDEURS au-dessous DU SOL.	TEMPÉRATURE MOYENNE.		MOYENNES des DEUX ANNÉES.
	1867.	1868.	
1 mètre.	11°29	11°82	11°55
6 mètres.	11,77	12,04	11,90
11 mètres.	11,87	12,04	11,95
16 mètres.	11,88	12,05	11,96
21 mètres.	11,94	12,00	11,97
26 mètres.	12,24	12,30	12,27
31 mètres.	12,28	12,25	12,17
36 mètres.	12,42	12,40	12,41

PROFONDEURS.	SAISONS.	1864.	1865.	1866.	1867.	1868.	MOYENNES.		VARIATION.
1 mètre.......	Hiver...........	6°871	6°376	8°312	7°716	7°649	7°385	Minimum...........	7°227
	Printemps.......	8,247	7,687	8,447	8,571	8,220	8,254		
	Été.............	14,294	14,663	14,033	14,170	15,990	14,612	Maximum..........	
	Automne........	12,692	14,783	13,490	14,706	15,525	14,239		
Moyenne..................		10,526	10,877	11,070	11,290	11,823	11,116	Moyenne des 5 années.	
6 mètres......	Hiver...........	12,668	12,123	12,369	12,253	12,400	12,362		
	Printemps......	11,233	10,648	11,241	10,904	10,950	10,995	Minimum...........	1°583
	Été.............	11,634	11,214	11,495	11,426	11,549	11,463		
	Automne........	12,671	12,593	12,008	12,388	13,232	12,578	Maximum...........	
Moyenne................		12,051	11,644	11,778	11,776	12,044	11,850	Moyenne des 5 années.	
11 mètres.....	Hiver...........	12,359	11,898	11,808	11,850	11,905	11,904		
	Printemps.......	12,114	11,297	11,594	11,720	12,286	11,802	Minimum...........	0°364
	Été.............	12,162	11,538	11,830	11,928	12,080	11,907		
	Automne........	12,120	11,680	11,870	12,000	12,160	12,166	Maximum...........	
Moyenne.................		12,189	11,601	11,775	11,875	12,044	11,915	Moyenne des 5 ans.	
16 mètres.....	Hiver...........	11,987	11,801	11,576	11,820	11,879	11,812	Minimum...........	0°190
	Printemps......	11,987	11,743	11,701	11,789	11,993	11,842		
	Été.............	12,087	11,787	11,928	11,966	12,244	12,002	Maximum..........	
	Automne........	12,183	11,696	11,927	11,965	12,110	11,976		
Moyenne................		12,081	11,757	11,783	11,885	12,057	11,912	**Moyenne des 5 ans.**	
21 mètres.....	Hiver...........	12,133	12,100	12,005	12,000	11,950	12,037		
	Printemps......	12,130	12,084	12,000	11,900	11,990	12,021	Minimum...........	0°04
	Été.............	12,192	12,133	12,050	11,913	12,029	12,065	Maximum..........	
	Automne........	12,112	12,087	12,050	11,950	12,033	12,046		
Moyenne.................		12,142	12,101	12,026	11,941	12,000	12,045	**Moyenne des 5 ans.**	

26 mètres	Hiver...........	12,104	12,054	12,194	12,132	11,984	12,093	Minimum........... } 0°514
	Printemps.......	12,332	12,356	12,347	12,138	12,262	12,287	
	Été............	12,597	12,703	12,650	12,414	12,684	12,607	Maximum..........
	Automne	12,388	12,558	12,463	12,283	12,333	12,405	
Moyenne		12,355	12,418	12,414	12,242	12,305	12,347	Moyenne des 5 ans.
31 mètres....	Hiver..........	12,852	12,341	12,427	12,383	12,250	12,351	Température sensiblement la même dans toutes les saisons.
	Printemps	12,375	12,321	12,450	12,250	12,250	12,329	
	Été............	12,403	12,449	12,450	12,250	12,250	12,360	
	Automne........	12,411	12,434	12,450	12,250	12,250	12,359	
Moyenne		12,385	12,386	12,444	12,283	12,250	12,349	Moyenne des 5 ans.
36 mètres....	Hiver..........	12,472	12,471	12,550	12,500	12,400	12,478	Température constante dans toutes les saisons.
	Printemps.......	12,490	12,466	12,550	12,400	12,400	12,461	
	Été............	12,527	12,581	12,550	12,400	12,400	12,492	
	Automne........	12,469	12,570	12,550	12,400	12,400	12,478	
Moyenne..................		12,489	12,522	12,550	12,425	12,400	12,477	Moyenne des 5 ans.

MOYENNES DES CINQ ANNÉES DE 1864 A 1868.

ANNÉES.	A 36 mètres.	A 31 mètres.	A 26 mètres.	A 21 mètres.	A 16 mètres.	A 11 mètres.	A 6 mètres.	A 1 mètre.
1864	12°489	12°385	12°355	12°142	12°081	12°189	12°051	10°526
1865	12,522	12,386	12,418	12,101	11,757	11,601	11,644	10,877
1866	12,550	12,444	12,414	12,026	11,783	11,775	11,778	11,070
1867	12,425	12,283	12,242	11,941	11,885	11,875	11,776	11,290
1868	12,400	12,250	12,305	12,000	12,057	12,128	12,041	11,823
Moyenne des 5 ans.....	12,477	12,349	12,347	12,045	11,912	11,915	11,850	11,116
Moyenne de 1867 à 1868.	12,41	12,27	12,27	11,97	11,97	12,00	11,90	11,55

TEMPÉRATURES MOYENNES A DIVERSES PROFONDEURS.

ANNÉES.	1 mètre.	6 mètres.	11 mètres.	16 mètres.	21 mètres.	26 mètres.	31 mètres.	36 mètres.
1864. 1865. 1866. 1867. 1868.	11°12	11°85	11°91	11°91	12°06	12°35	12°35	12°48
1867 et 1688.	11°55	11°91	12°00	11°97	11°97	12°27	12°37	12°41

L'été exceptionnel de 1868 a influé sur la température à 1 mètre de profondeur.

VARIATIONS DE TEMPÉRATURE D'UNE STATION A L'AUTRE.

Pendant les cinq années.

De 1 mètre à 6 mètres = 0°73
De 6 — 11 — = 0,06
De 11 — 16 — = 0,00
De 16 — 21 — = 0,13
De 21 — 26 — = 0,31
De 26 — 31 — = 0,00
De 31 — 36 — = 0,113

Pendant les deux dernières années.

De 1 mètre à 6 mètres = 0°36
De 6 — 11 — = 0,09
De 11 — 16 — = 0,09
De 16 — 21 — = 0,00
De 21 — 26 — = 0,30
De 26 — 31 — = 0,00
De 31 — 36 — = 0,15

La variation de 1 mètre à 36 mètres a été de 0°86 au lieu de 1°36 avec les cinq années; cette différence tient à la chaleur estivale de 1868 qui a été de 15°00 à 1 mètre au lieu de 14°29 en 1864, 14°66 en 1865, 14°03 en 1866, 14°17 en 1867.

Si l'on s'en tient aux moyennes des cinq années, ce qui est plus rationnel, on en déduit les conséquences suivantes :

1° La température moyenne a présenté très-peu de différence de 6 mètres à 21 mètres, ainsi que de 21 mètres à 26 mètres.

2° De 1 mètre à 36 mètres, la différence a été de 1° 36.

Mais s'il est démontré que, pendant les cinq années, les températures moyennes ont été sensiblement les mêmes, de 6 mètres à 21 mètres, il n'est pas dit pour cela que la température dans ces diverses stations ait été stationnaire ; pour savoir à quoi s'en tenir à cet égard, il faut chercher les variations de température dans le cours de l'année, suivant les saisons, c'est-à-dire les différences entre les maxima et minima moyens annuels.

Les variations diminuent jusqu'à 21 mètres où elles sont nulles ; à 26 mètres elle est de 1/2 degré, puis, jusqu'à 36 il n'y a plus de variations ; toutes les couches de terrain ont donc une température constante, à 21 mètres, à 31 mètres, et à 36 mètres ; où donc placer la couche invariable? Est-ce à 21 mètres, à 31 mètres ou à 36 mètres, et plus loin probablement s'il eût été possible d'étendre les observations au delà.

En discutant les observations, on a vu qu'à 1 mètre les maxima et les minima ont lieu aux mêmes époques que dans l'air; qu'à 6 et 11 mètres ils ont lieu en automne et au printemps, tandis qu'à 16 et 26 mètres ils se montrent aux mêmes époques que dans l'air. Cet état de choses avait déjà été si-

gnalé dans mon premier Mémoire. Voici comment on s'en rend compte. En consultant la carte hydrologique de M. Delesse, on voit qu'à 16 mètres on commence à pénétrer dans la nappe d'eau souterraine qui alimente les puits du Jardin des plantes. Cette nappe d'eau s'écoule sans cesse vers la Seine; elle reçoit directement les eaux atmosphériques, et sa température doit participer, par conséquent, de celle de l'air. A 26 mètres, se trouve la deuxième nappe souterraine qui repose sur l'argile plastique, nappe puissante, attendu qu'elle repose sur des couches imperméables; elle est alimentée par les eaux pluviales ainsi que par les eaux coulant à la surface du sol, dans les endroits où affleure l'argile plastique.

Il est vivement à regretter qu'il n'ait pas été possible de continuer le forage au moins jusqu'à 100 ou 150 mètres; on aurait trouvé bien certainement des résultats qui auraient jeté du jour sur les causes qui apportent une perturbation sur la distribution de la chaleur dans les parties supérieures du terrain parisien depuis le sol jusque dans le calcaire marin au-dessous de l'argile plastique. Des observations de ce genre, faites dans diverses localités, mettraient à même de déterminer avec exactitude la marche que suit l'accroissement de température dans la croûte du globe à partir du sol sous nos latitudes moyennes, ainsi que les causes qui apportent une perturbation dans la loi qui la régit. On connaîtrait aussi l'influence de la nature des roches bien mieux qu'avec les autres moyens thermométriques employés.

Cette loi ne pourra être déterminée expérimentalement que lorsque le thermomètre électrique aura été placé dans

des roches anciennes non fracturées par des soulèvements ou des bouleversements, et d'où résultent des infiltrations d'eau qui modifient la température.

Je fais des vœux pour que de semblables entreprises soient faites sur différents points en France.

MÉMOIRE

SUR LA

TEMPÉRATURE DE L'AIR

SOUS BOIS ET HORS DES BOIS

PAR

MM. BECQUEREL ET EDM. BECQUEREL.

Lu dans la séance du 5 avril 1869.

Lorsqu'on cherche à se rendre compte des causes nombreuses qui influent sur la température de l'air, sous bois et hors des bois, il faut commencer par prendre en considération la nature du sol et les objets divers qui le recouvrent, lesquels agissent suivant leurs pouvoirs émissifs, absorbants, rayonnants et conducteurs ; on se met à l'abri de ces influences en s'élevant au-dessus du sol de 20 à 30 mètres, et même au-delà, suivant la localité, sous nos latitudes moyennes, comme l'ont reconnu M. Martins à Montpellier, M. Plantamour à Genève, et l'un de nous à Paris.

Le moyen le plus facile de faire ces observations est d'employer le thermomètre électrique, qui permet d'observer à telle hauteur qu'on le juge convenable et loin de la présence de l'observateur.

Les observations de température faites à $1^m,33$ au-dessus du sol, comme il est d'usage, donnent la température de l'air compliquée des effets de rayonnement du sol et de celui des objets qui le recouvrent, tels que bâtiments, arbres, etc. Nous avons dû agir ainsi dans les observations dont il va être question, puisque nous avons eu l'intention de connaître l'influence des bois sur la température de l'air.

Ces observations ont été faites en 1866, 1867, 1868, dans cinq localités de l'arrondissement de Montargis (Loiret), avec les ressources que l'Académie a bien voulu mettre à notre disposition ; mais avant de rapporter les résultats obtenus, nous croyons utile de rappeler l'influence qu'exercent les arbres sur la température de l'air, afin de pouvoir interpréter les effets obtenus qui résultent d'actions complexes, comme on va le voir :

Les expériences que l'un de nous a faites, il y a déjà un certain nombre d'années, ont montré que la température moyenne de l'air et celle de l'intérieur d'arbres isolés, exposés au rayonnement solaire, sont égales ; ces arbres s'échauffent comme tous les corps placés à la surface du sol, mais avec cette différence toutefois que les heures des maxima et des minima ne sont pas les mêmes que dans l'air : elles varient suivant l'espèce et le diamètre des arbres ; dans les feuilles, les variations de température ont lieu à peu près comme dans l'air ambiant, dans les jeunes branches un peu plus tard, et ainsi de suite jusqu'au tronc, où elles sont très-lentes. On fait abstraction, ici, de la chaleur propre des arbres, résultant des diverses réactions qui ont lieu dans les tissus, et de celle qu'ils empruntent aux liquides absorbés par les racines, attendu qu'elles sont faibles comparées à celle pro-

venant de la radiation solaire ou du rayonnement nocturne, comme le prouvent les maxima et minima de température, lesquels sont en rapport jusqu'à un certain point toutefois avec ceux de l'air, quoique à des heures différentes. Cette chaleur propre des arbres joue un rôle important en hiver, puisqu'elle empêche un abaissement trop grand de température dans leurs tissus, qui leur serait fatal, etc.; mais il est à croire que cette cause n'est peut-être pas la seule. Dans un arbre de 5 à 6 décimètres de diamètre, le maximum de température a lieu en été, vers 10 ou 11 heures du soir, et en hiver vers 6 heures, tandis que dans l'air il se montre, suivant la saison, entre 2 ou 3 heures; de cette différence entre les heures des maxima résulte, comme on l'a reconnu du reste par l'observation, que la température peut s'abaisser dans l'air par une cause quelconque, telle que le passage d'un nuage, un changement dans la direction du vent, etc., et s'élever dans l'intérieur des arbres, par suite de la chaleur acquise par les couches extérieures, laquelle est transmise lentement aux couches intérieures, à cause de leur mauvaise conductibilité.

Lorsque les arbres forment des massifs et qu'ils sont en feuilles, voici ce qui se passe : Les troncs et les branches inférieures s'échauffent lentement, étant garantis du rayonnement solaire dans le jour, et pendant la nuit du rayonnement céleste, par les feuilles, qui agissent aussi par leur grand pouvoir absorbant et émissif : elles échauffent l'air plus ou moins, sous l'influence de la radiation solaire, suivant que le ciel est clair ou nuageux, tandis que le rayonnement céleste, pendant la nuit, produit des effets contraires. En premier lieu, il y a un courant ascendant d'air

chaud, dans le second un courant descendant d'air froid vers le sol; d'un autre côté, l'évaporation incessante par les feuilles étant une cause de refroidissement de l'air, il en résulte une complication d'effets calorifiques, dont la résultante ne peut être connue que par un très-grand nombre d'observations faites dans différents lieux, ne présentant pas les mêmes conditions climatériques. La température de l'air, sous bois et hors du bois, dépend donc non seulement de la nature du sol, selon qu'il est siliceux ou argileux, sec ou humide, mais encore de celle des arbres, suivant qu'ils sont plus ou moins bons conducteurs de la chaleur, et de leur âge.

Dans les sols, on doit avoir égard encore à la faculté qu'ils possèdent de retenir la chaleur, et à la température maximum que peuvent acquérir les couches supérieures.

Avec les sols calcaires, siliceux ou argileux, Schubler a trouvé qu'en représentant par 100 la faculté que possède le sable calcaire de retenir la chaleur, celle de la terre argileuse est 68,5 ; quant à la température maximum, selon que la terre est humide ou sèche, l'air ambiant étant 25 degrés, elle paraît varier de 37 à 44 degrés.

Ces données suffisent pour montrer les effets calorifiques qui résulteraient du déboisement d'une contrée dont le sol serait siliceux, calcaire, argileux, sec ou humide. Ces sols étant boisés, des effets du même genre sont produits, à l'intensité près toutefois, lesquels dépendent encore de l'âge des bois.

Telles sont les considérations que nous avons cru devoir présenter avant d'arriver à la discussion des observations de température faites dans cinq localités de l'arron-

dissement de Montargis, pendant trois ans, et qui sont au nombre de plus de quatorze mille.

Ces localités sont Montargis, Châtillon-sur-Loing, la Jacqueminière, canton de Courtenay, le Charme et la Salvionnière, à 2 kilomètres du Charme.

Ces observations ont été faites avec le thermométrographe placé à $1^{m},33$ au-dessus du sol, afin d'avoir l'influence de ce dernier. La température moyenne a été déduite des maxima et des minima moyens, dont la connaissance est également indispensable pour la détermination des climats.

Les observations de Montargis nous ont été communiquées obligeamment par M. Parant, ingénieur civil et habile météorologiste. Les instruments dans trois localités ont été placés près des bois et sous bois.

Toutes les observations ont été groupées en vingt-neuf tableaux, à l'aide desquels on peut vérifier d'un seul coup d'œil les résultats généraux dont nous allons parler. De ces vingt-huit tableaux, il y en a cinq pour chaque localité, dans lesquels on trouve les moyennes mensuelles, celles des saisons et des variations, un tableau pour les moyennes générales et deux pour les moyennes des températures du Jardin des Plantes pendant 1867 et 1868, afin de servir de points de comparaison.

Voici les conséquences auxquelles conduisent les moyennes contenues dans les vingt-neuf tableaux dont on vient de parler.

1° La température moyenne pour 1866, 1867, 1868, a été plus grande dans l'intérieur des villes hors des bois qu'en dehors desdites villes.

A Châtillon-sur-Loing.	11°73
A Montargis.	11,19

Dans la première localité, les thermométrographes sont placés dans un vaste jardin, entouré de murs de 10 mètres de hauteur et de 2 mètres d'épaisseur, lesquels ont dû influer sur la température de l'air par leur rayonnement. Dans la seconde, près d'une promenade.

Dans les autres localités qui sont entrecoupées de terres et de bois, on a eu :

A la Jacqueminière..	10°97
Au Charme.	10,70
A la Salvionnière..	10,57

En comparant ces valeurs à celles de Paris, de 1861 à 1864, obtenues avec les maxima et les minima, on a :

A l'Observatoire de Paris..	10°879
Au Jardin des Plantes.	10,949
Différence.	0,070

Cette différence est insignifiante; ces températures diffèrent également peu de celles des trois dernières localités.

2° La température moyenne de l'air sous bois est un peu inférieure à celle en dehors du bois.

A la Jacqueminière la différence a été. . . .	0°79
A Châtillon (dans un bosquet futaie)	0,54
Différence moyenne..	0,66

A la Salvionnière elle a été en sens inverse de 0°,29 seulement, mais il faut dire aussi que dans cette localité le bois

est un taillis non garni d'anciennes réserves comme les autres bois, qui ont, en raison de cela, une température spéciale, comme on l'a dit précédemment.

3° Les maxima moyens hors du bois sont plus élevés que sous bois.

Pour Châtillon de.	0°38
Pour la Jacqueminière de	2,00

Pour la Salvionnière, la différence a été de 0°,79 en sens inverse.

Quant aux minima, ils ont été un peu plus bas en plaine que sous bois, comme il était facile de le concevoir.

4° La température moyenne de l'été qui se compose de celles des mois de juin, juillet et août a été supérieure hors du bois à celle sous bois :

A Châtillon de.	1°16
A la Jacqueminière de.	2,25
A la Salvionnière de.	0,10
Moyenne.	1,17

Les variations de température ont été plus grandes dans deux localités sous bois que hors du bois d'environ ½ degré.

Dans une troisième localité, où le thermométrographe était placé au nord, adossé à un mur, près d'une prairie, et par conséquent dans une position spéciale, à cause du rayonnement nocturne, les variations ont été en sens inverse de 2°,5 environ.

5° Les différences entre les plus basses températures pen-

dant les plus grands froids n'ont pas été telles qu'on aurait pu s'y attendre.

LA SALVIONNIÈRE. — DÉCEMBRE 1867.

	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.
24 décembre	— 3°7	— 3°7
25 —	— 6,0	— 5,7
26 —	— 4,9	— 3,9
27 —	— 6,0	— 5,8
28 —	— 8,0	— 6,7
29 —	— 7,8	— 8,2
30 —	— 4,9	— 4,9
Moyenne	— 5,9	— 5,56

JANVIER 1868.

	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.
1er janvier	— 10°5	— 10°5
2 —	— 12,7	— 12,0
3 —	— 12,8	— 12,1
4 —	— 10,5	— 10,1
5 —	— 14,0	— 12,6
6 —	— 12,1	— 9,8
7 —	— 12,8	— 11,7
8 —	— 11,0	— 9,8
9 —	— 4,1	— 3,4
10 —	— 3,9	— 3,7
11 —	— 8,0	— 8,2
12 —	— 4,1	— 4,0
Moyenne de janvier	— 9,70	— 9,0
Moyennes des 19 jours	— 8,3	— 7,7

En effet, les observations faites dans les trois localités ont montré que, lorsque la température descend de 8 à 10 degrés

au-dessous de zéro et au delà, il fait plus froid sous bois que hors bois; les différences s'élèvent quelquefois à près de 1 degré.

	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.
1er janvier	— 10°0	— 10°0
2 —	— 13,0	— 11,5
3 —	— 12,0	— 12,0
4 —	— 9,1	— 9,6
5 —	— 15,5	— 10,0
6 —	— 13,5	— 14,0
7 —	— 15,0	— 16,0
8 —	— 10,9	— 11,0
9 —	— 4,0	— 3,0
10 —	— 7,4	— 7,6
11 —	— 10,4	— 11,5
12 —	— 3,8	— 3,5
Moyenne	— 10,37	9,80
Différence	— 0,57	

La différence, dans cette localité entre la température sous bois et celle hors du bois, a été de 0°,57 au lieu de 0°,6 dans l'autre localité, c'est-à-dire la même; on voit par là, que, dans les grands froids, l'abaissement de température a été un peu plus grand sous bois que hors du bois; mais il n'en est pas de même, en été, où la température est toujours plus élevée hors du bois que sous bois, comme on l'a vu précédemment; mais aussi les feuilles modèrent les effets de la radiation solaire pendant le jour.

A Châtillon, on a eu pendant le même hiver :

	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.
1er janvier	— 8°0	— 6°9
2 —	— 9,0	— 7,2
3 —	— 10,0	— 8,8
4 —	— 12,0	— 9,4
5 —	— 10,2	— 8,4
6 —	— 13,9	— 11,5
7 —	— 13,5	— 11,6
8 —	— 10,0	— 8,0
9 —	— 4,8	— 3,4
10 —	— 4,3	— 2,8
11 —	— 9,9	— 9,4
12 —	— 7,5	— 5,6
Moyenne	— 9,42	— 7,83
Différence	— 1,59	

On voit par ces résultats qu'à Châtillon comme dans les autres localités, la moyenne du minima, pendant les grands froids de 1868, a été également plus forte sous bois que hors du bois ; la différence au lieu de 0,6 a été de 1,53. Si l'on compare les températures moyennes à Châtillon hors du bois et sous bois, en janvier 1869, pendant les grands froids, on trouve :

	SOUS BOIS.		HORS DU BOIS.	
	Maxima.	Minima.	Maxima.	Minima.
19 janvier.	— 7°3.	— 2°0.	— 7°8.	— 0°3
20.	— 1,0.	— 5,0.	— 1,8.	— 2,9
21.	— 3,0.	— 4,8.	— 2,8.	— 2,8
22.	— 3,8.	— 4,8.	— 2,8.	— 2,9
23.	— 0,4.	— 8,0.	— 0,6.	— 5,8
24.	— 0,2.	— 8,9.	— 0,0.	— 6,5
25.	— 1,0.	— 9,8.	— 0,8.	— 7,9
26.	— 0,4.	—10,0.	— 1,9.	— 8,10
27.	— 3,8.	— 8,2.	— 1,63.	— 7,0
Moyenne.	— 4°58.		— 3°57	
Différence.	— 1°01			

Cette différence indique que la température moyenne sous bois, pendant les froids de janvier, a été de 1,05 plus basse que hors du bois, ce qui s'accorde avec les résultats précédents :

CHATILLON. — JANVIER 1867.

	SOUS BOIS.		HORS DU BOIS.	
	Maxima.	Minima.	Maxima.	Minima.
14.	— 0°8.	— 3°5.	— 0°4.	— 2°6
15.	— 0,2.	— 3,6.	— 0,4.	— 2,8
16.	— 0,2.	— 4,2.	— 0,6.	— 3,2
17.	— 0,2.	— 3,2.	— 1,0.	— 1,6
18.	— 0,8.	—10,2.	— 1,4.	— 8,4
19.	— 3,0.	—12,1.	— 2,8.	—10,2
20.	— 1,0.	—11,7.	— 1,2.	— 9,4
21.	— 0,8.	— 4,3.	— 0,6.	— 2,8
22.	— 0,5.	— 2,9.	— 0,8.	—11,0
Température moyenne.	— 3°49		— 3°41	

Ces résultats montrent que, lorsque l'abaissement de température n'a pas atteint un certain degré, la température hors du bois et sous bois est la même.

Les variations dans les trois localités boisées, pendant les trois années, ont été un peu plus fortes de 0,34, dans deux localités sous bois que hors du bois, et en sens inverse, dans une autre localité.

	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.
La Salvionnière	8°40	8°10
Châtillon	7,15	6,76
La Jacqueminière	7,98	10,47

Cette inversion qui a eu lieu à la Jacqueminière tient à des causes locales qu'il est bien difficile d'apercevoir.

On peut s'adresser ensuite cette question : comment se fait-il que, lorsque la température de l'air sous bois ou hors du bois s'abaisse à 10 degrés, 15 degrés et au delà, au-dessous de zéro, celle des arbres n'atteigne pas ce degré, du moins on doit le supposer, d'après des expériences anciennement faites, car, si cela était, les tissus seraient désorganisés. Dans ces cas-là, la température propre des arbres, quelque faible qu'elle soit, n'interviendrait-elle pas pour atténuer les effets du refroidissement, qui finirait par faire périr les arbres ? Il pourrait se faire aussi que l'écorce préservât jusqu'à un certain point l'intérieur des arbres d'un trop grand refroidissement, comme agit le tissu cellulaire à l'égard des muscles de l'homme et des animaux qu'il recouvre. L'un de nous a trouvé effectivement que le tissu cellulaire a toujours une température plus basse que celle des muscles, celle-ci étant invariable dans l'état normal, et l'au-

tre étant soumise aux variations de température atmosphérique.

On doit conclure de ce qui est rapporté dans ce Mémoire que, dans les localités de la région indiquée, l'intérieur des bois a un climat un peu différent de celui de l'extérieur, sous le rapport de la température.

Dans le Mémoire que nous avons eu l'honneur, mon fils et moi, de présenter à l'Académie sur la température de l'air, hors du bois et sous bois, nous avons dit que, durant la période de trois ans, 1866, 1867 et 1868, pendant les plus grands froids, la température a toujours été plus basse sous bois qu'en dehors, en ajoutant qu'il était difficile d'expliquer cette espèce d'anomalie, car on était disposé, *à priori*, à admettre le contraire, en raison des arbres qui agissent comme abris entre le rayonnement céleste.

En cherchant à expliquer la cause de cet état de choses, l'un de nous (M. Becquerel) s'est rappelé les expériences qu'il avait faites en 1858 et 1859 au Jardin des Plantes, avec le thermomètre électrique, sur la température de l'air comparée à celle de l'intérieur d'un arbre de 4 à 5 décimètres de diamètre. Les résultats auxquels il parvint et que l'on va rapporter mettent sur la voie de la cause du phénomène; ils ne seront pas, je crois, sans intérêt pour la physiologie.

L'un de nous avait tiré la conséquence de ses observations que la température moyenne de l'air au nord était la même que celle de l'intérieur d'un arbre de 4 à 5 centimètres de diamètre, et que les heures du maxima et de minima n'étaient pas les mêmes que celles des mêmes extrêmes de la température de l'air et qu'elles étaient retardées plus ou moins, suivant la saison et la grosseur de l'arbre. On avait oublié

toutefois de mentionner les rapports de grandeur entre les maxima et les minima dans l'air et dans l'arbre, rapports indépendants de la moyenne annuelle et même mensuelle. Dans l'un et dans l'autre cas, c'est la différence entre ces valeurs qui a mis l'un de nous sur la voie de la cause du phénomène dont il est question ici.

Si l'on prend d'abord les observations de juillet 1859, faites à neuf heures du matin et neuf heures du soir, à partir seulement du 13, attendu que quelques observations antérieures manquent. On trouve ci-après un tableau qui renferme les observations qu'on a recueillies, classées de manière à mettre en évidence les résultats relatifs à la température moyenne de l'air comparée et celle de l'arbre.

RECHERCHES SUR LA TEMPÉRATURE

Juillet 1859.

TABLEAU I.

DATE.	TEMPÉRATURE À LA SURFACE DU MARRONNIER AU NORD.			TEMPÉRATURE DU MARRONNIER.		
	9h matin.	9h soir.	Moyennes.	9h matin.	9h soir.	Moyennes.
13	30°6	28°2	29°40	22°8	26°4	20°60
14	26,9	25,4	21,15	25,4	24,2	24,80
15	25,4	24,0	24,70	24,3	25,2	24,70
16	26,0	24,6	25,30	23,9	25,4	24,65
17	28,9	25,0	27,20	24,2	26,2	25,20
18	28,6	27,8	28,20	25,0	26,8	25,90
19	27,5	24,6	25,50	24,3	25,3	20,80
20	28,6	25,3	26,95	24,8	26,0	25,40
21	28,0	25,2	26,60	25,5	26,2	25,85
22	26,1	19,8	22,95	24,9	24,4	24,65
23	23,7	16,9	20,30	28,1	23,0	23,50
24	20,0	17,8	18,75	21,2	21,8	21,50
25	20,6	19,2	19,95	19,2	21,0	25,10
26	22,0	20,6	21,20	19,4	21,6	25,50
27	24,3	23,6	23,95	21,0	23,0	22,00
28	23,4	24,6	24,50	22,2	23,5	23,85
29	23,6	24,9	23,90	23,0	24,2	24,60
30	22,4	21,2	21,80	23,5	23,4	23,45
31	27,3	21,8	24,55	22,8	24,0	22,40
Moyennes.	25,7	23,1	24,4	23,4	24,2	23,8

Moyenne des températures à la surface de l'arbre au nord. 24,4
Moyenne des températures au marronnier. 23,8



Dans les jours les plus chauds, dans l'air on a eu successivement 29°,40, 28°,20, 26°,95, etc., etc.; et les mêmes jours, la température a été dans l'arbre de 24°,60, 25°,90, 25°,40, etc.; les différences 4°,80, 2°,30, et 1°,55, etc., ont toujours été en diminuant; une fois arrivée dans l'air à 26°,60, 22°,95, 20°,30, 18°,75, 19°,95, etc., elle s'est élevée dans l'arbre à 25°,85, 24°,65, 23°,50, 21°,50. La température de l'arbre l'emportait alors sur celle de l'air.

Ces résultats montrent qu'il faut un certain temps pour que la chaleur extérieure pénètre dans l'arbre; mais ce dernier n'atteint jamais la température maximum de l'air, à moins de circonstances particulières; quand celle-ci s'est abaissée, l'autre devient prépondérante pendant plusieurs jours, dans des cas que j'ai indiqués.

RECHERCHES SUR LA TEMPÉRATURE

Novembre 1859.

TABLEAU II.

DATE.	TEMPÉRATURE A LA SURFACE DU MARRONNIER AU NORD.			TEMPÉRATURE DU MARRONNIER.		
	9h matin.	9h soir.	Moyenne.	9h matin.	9h soir.	Moyenne.
1	2°7	+ 4°4	3°55	5°8	9°6	5°70
2	+ 0,4	— 0,2	0,10	1,3	3,3	3,80
3	— 0,7	— 1,2	— 0,70	1,6	1,0	1,30
4	— 3,8	— 0,6	— 2,20	0,5	0,2	0,30
5	+ 3,8	+ 7,1	+ 5,45	0,2	1,5	0,85
6	5,4	3,8	4,60	3,1	3,4	3,25
7	6,2	4,0	5,10	3,8	4,0	3,90
8	3,0	2,2	2,60	4,0	4,4	4,22
9	0,3	2,1	1,20	3,2	3,1	3,15
10	— 0,2	0,6	0,20	2,2	1,8	2,06
11	— 1,2	— 0,2	— 0,70	1,0	0,8	0,90
12	— 2,0	+ 2,3	+ 0,15	— 0,4	0,2	— 0,07
13	+ 1,8	1,6	1,70	+ 0,4	1,0	+ 0,70
14	1,1	— 0,4	0,35	0,2	+ 0,8	0,75
15	— 2,2	— 3,6	— 2,90	0,2	— 0,1	0,05
16	— 7,2	— 6,4	— 6,80	0,0	— 0,1	— 0,05
17	— 8,0	— 7,8	— 7,90	— 0,2	— 0,4	— 0,30
18	—10,0	—10,8	—10,40	— 0,7	— 1,0	— 0,35
19	—12,0	—10,2	—10,10	— 1,8	— 2,2	— 2,00
20	—14,0	— 7,6	—10,80	— 3,6	— 3,8	— 3,70
21	+ 1,0	+ 6,1	+ 3,55	— 3,0	— 1,6	— 2,30
22	6,3	6,3	6,30	— 0,8	— 0,5	— 0,67
23	6,4	7,0	6,70	— 0,4	— 0,3	— 0,35
24	8,0	7,0	7,50	— 0,2	+ 0,9	+ 0,20
25	7,1	7,6	7,50	+ 1,1	1,6	1,35
26	8,7	7,9	8,15	2,4	2,1	2,25
27	3,3	7,0	5,15	2,4	2,8	2,60
28	6,1	6,7	6,40	3,2	4,0	3,60
29	8,8	9,7	9,25	4,6	6,4	5,50
30	10,4	11,0	10,70	7,6	8,6	8,10
31	12,0	13,6	12,80	9,5	10,7	10,10
Moyennes.	1,35	2,13	1,74	1,61	1,87	1,74

Moyenne des températures à la surface de l'arbre au nord. . . . 1°74

Moyenne des températures du marronnier. . . . . 1°74

On voit encore dans les tableaux dont on vient de parler que la température dans l'arbre est plus élevée à neuf heures du soir qu'à neuf heures du matin, et même fréquemment davantage qu'à trois heures, ce qui montre bien que les heures des maxima et des minima ne sont pas les mêmes que dans l'air.

Voyons ce qui se passe en hiver dans les plus grands froids; dans le mois de décembre 1859, à partir du 15, on a eu pour la température moyenne :

	DANS L'AIR.	DANS L'ARBRE.
15	— 2°90	+ 0°05
16	— 6,80	— 0,05
17	— 7,90	— 0,30
18	— 10,40	— 0,85
19	— 11,10	— 2,00
20	— 10,80	— 3,70
21	+ 3,55	— 2,30
22	+ 6,30	— 0,65
23	+ 6,70	— 0,35

Ces résultats montrent que, lorsque la température descend dans l'air successivement jusqu'à 11 degrés au-dessous de zéro, elle ne dépasse pas, dans l'arbre, 3°,70 également au-dessous de zéro : différence 7°,30; et que, lorsque la température, après le dégel, est dans l'air à 6°,70 au-dessous de zéro, elle est encore au-dessous de zéro dans l'arbre. Il doit donc faire plus froid alors hors du bois que sous bois; c'est ce qui arrive.

Il résulte bien des faits qui viennent d'être décrits qu'il existe bien, dans les arbres, une cause qui ne dépendpas uniquement de la mauvaise conductibilité des couches ligneuses

et de la chaleur propre de ces arbres, cause que j'ai attribuée, sans pouvoir le démontrer toutefois, à l'écorce qui jouerait le même rôle que la peau et le tissu cellulaire qui recouvrent les muscles de l'homme et des animaux.

On peut se demander si ces effets sont les mêmes dans des arbres d'un petit diamètre comme dans les arbres d'un diamètre de $0^m,45$; aucune expérience n'ayant encore été faite, à cet égard, avec le thermomètre électrique, qui est un instrument précieux pour déterminer la température des parties intérieures des corps organisés, sans produire de lésions sensibles, même celle du cœur dans les animaux sans produire immédiatement la mort.

Il est à croire toutefois qu'il en est de même dans les arbres ayant de petits diamètres comme dans ceux à grands diamètres, à des différences près résultant de celles dues à la résistance qui est moindre dans les premiers que dans ceux-ci, attendu que, dans de jeunes taillis, la température de l'air dans les grands froids est souvent plus élevée que celle de l'air en dehors, comme on a pu le voir dans le Mémoire présenté dans l'avant-dernière séance.

MONTARGIS.

1866.

TABLEAU III.

SAISONS.	EN PLAINE.			VARIATIONS.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	
Décembre	3°05	1°17	0°25	
Janvier	8,42	2,45	3,16	
Février	8,70	3,52	6,71	
Hiver	6,72	1,60	4,16	5°12
Mars	9,75	2,84	6,29	
Avril	16,56	6,94	11,75	
Mai	17,60	6,86	12,23	
Printemps	14,64	5,34	10,00	9,30
Juin	25,00	13,32	19,16	
Juillet	24,34	14,22	19,28	
Août	21,65	13,02	17,23	
Été	23,66	13,52	18,50	10,14
Septembre	20,23	12,02	16,12	
Octobre	15,32	8,25	11,78	
Novembre	10,58	3,64	7,21	
Automne	15,38	7,97	11,67	7,41
Moyenne annuelle	15,10	7,11	11,05	2,99

MONTARGIS.

1867.

TABLEAU IV.

MOIS.	EN PLAINE.			VARIATIONS.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	
Décembre (1866)	8°28	2°86	5°57	
Janvier (1867)	4,92	—0,58	2,17	
Février.	11,38	4,73	8,06	
Hiver.	8,19	2,34	5,27	5°85
Mars..	10,48	2,80	6,44	
Avril..	15,49	6,88	11,19	
Mai.	19,07	9,51	14,71	
Printemps..	15,32	6,39	10,86	8,93
Juin.	22,59	11,68	17,14	
Juillet.	23,46	13,10	18,28	
Août..	25,10	13,40	19,23	
Été..	23,72	12,73	18,22	10,99
Septembre..	20,97	11,32	16,14	
Octobre.	14,19	6,01	10,10	
Novembre.	9,11	1,16	5,13	
Automne..	14,76	6,16	10,46	8,60
Moyenne annuelle.	15,49	6,54	11,19	

MONTARGIS.

1868.

TABLEAU V.

MOIS.	EN PLAINE.			VARIATIONS.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	
Décembre (1867)	3°56	—1°83	0°86	
Janvier (1868)	3,57	—2,46	0,64	
Février	8,52	0,42	4,47	
Hiver	5,22	—1,29	1,99	6°51
Mars	11,53	3,02	7,28	
Avril	14,88	5,80	10,34	
Mai	24,31	13,13	18,72	
Printemps	16,90	7,32	12,11	9,58
Juin	25,00	13,25	19,12	
Juillet	26,90	15,65	21,27	
Août	23,51	14,45	18,98	
Été	25,14	14,45	19,79	10,69
Septembre	23,31	12,79	18,05	
Octobre	14,87	6,47	10,67	
Novembre	8,03	11,84	4,93	
Automne	15,40	7,03	11,22	8,37
Moyenne annuelle	15,67	6,87	11,27	8,80

MONTARGIS.

TABLEAU VI.

SAISONS.	EN PLAINE.			VARIATIONS.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	
1866.				
Hiver	6°72	1°60	4°16	
Printemps	14,64	5,34	10,00	
Été	23,66	13,52	18,50	
Automne	15,38	7,97	11,67	
Moyenne	15,10	7,16	11,13	7,95
1867.				
Hiver	8,29	2,34	5,27	
Printemps	15,32	6,39	10,86	
Été	23,72	12,73	18,22	
Automne	14,76	6,16	10,46	
Moyenne	15,57	6,9	11,23	3,94
1868.				
Hiver	5,22	1,29	1,99	
Printemps	16,90	7,32	12,11	
Été	25,14	14,45	19,79	
Automne	15,40	7,03	11,22	
Moyenne	15,67	6,87	11,27	8,80

CHATILLON-SUR-LOING.

1866.

TABLEAU VII.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1865).	4°50	—1°23	1°65	3°72	— 1°17	1°27
Janvier (1866).. .	9,16	2,37	5,73	8,13	2,58	5,36
Février......	9,10	3,44	6,22	8,70	3,37	6,03
Hiver.......	7,54	1,53	4,53	6,85	1,59	4,22
Mars.......	9,93	3,51	6,72	8,80	2,41	5,65
Avril.......	17,39	9,59	13,49	17,60	8,04	12,82
Mai........	10,30	8,31	12,31	17,26	8,54	12,90
Printemps.....	14,02	7,14	10,84	14,54	6,33	10,46
Juin.......	21,77	15,22	18,40	24,15	14,56	19,35
Juillet.......	22,17	16,00	19,08	21,49	15,81	20,15
Août.......	19,40	14,00	16,70	20,58	13,68	17,13
Été........	21,11	15,07	18,09	23,07	14,68	18,89
Septembre.. . . .	18,33	9,13	13,73	19,13	13,36	16,24
Octobre......	14,85	7,34	11,69	15,18	10,02	12,60
Novembre.. . . .	10,11	2,84	6,47	10,22	5,08	7,65
Automne.....	14,43	6,44	10,43	14,84	9,48	12,16
Moyenne annuelle.	14,35	7,54	10,94	14,82	8,02	11,42

CHATILLON-SUR-LOING.

1867.

TABLEAU VIII.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1866). .	7°78	2°66	5°22	7°23	3°73	5°48
Janvier (1867). . .	4,86	—1,05	1,90	5,10	0,76	2,93
Février.	11,50	5,40	8,45	11,50	6,30	8,90
Hiver.	8,05	2,33	5,19	7,94	3,59	5,77
Mars.	10,70	2,80	6,75	10,60	4,00	7,30
Avril.	15,78	8,10	11,94	15,48	8,64	12,06
Mai.	19,93	11,33	15,63	20,43	12,07	16,26
Printemps.	15,47	7,41	11,44	15,50	8,23	11,87
Juin.	20,85	12,79	16,82	22,87	14,35	18,61
Juillet.	21,14	14,83	17,98	23,46	15,12	19,29
Août.	23,75	14,49	19,12	23,93	15,54	19,73
Été.	21,95	14,04	17,99	23,42	15,00	19,21
Septembre.	19,27	12,07	15,67	20,81	13,73	17,27
Octobre.	13,13	7,51	10,32	13,36	8,46	10,91
Novembre.	5,75	0,85	4,87	8,39	0,91	4,66
Automne.	13,72	6,81	10,26	14,18	7,70	10,95
Moyenne annuelle.	14,79	7,65	11,22	15,21	8,53	11,87

CHATILLON-SUR-LOING.

1868.

TABLEAU IX.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1867)..	9°45	3°95	6°70	7°97	3°87	5°92
Janvier (1868) . .	3.10	−3,33	−0,23	3,07	−1,82	0,62
Février.	8,58	0,46	4,52	7,80	1,68	4,78
Hiver.	7,04	0,36	3,66	6,28	1,24	3,76
Mars.	11,20	3,20	7,20	10,50	4,20	7,35
Avril.	14,60	6,20	10,40	13,60	7,10	10,35
Mai.	22,90	13,50	18,20	21,00	13,60	18,80
Printemps.	16,23	7,63	11,93	16,03	8,30	12,16
Juin.	23,10	13,30	18,20	25,60	15,60	20,60
Juillet.	25,60	16,10	20,70	27,00	17,20	22,10
Août.	21,20	15,60	18,40	22,00	16,30	19,15
Été.	23,30	15,00	19,15	24,86	16,36	20,61
Septembre.	18,90	10,90	14,90	20,00	11,80	15,90
Octobre.	13,85	8,60	11,22	13,95	8,95	11,45
Novembre.	8,15	3,05	5,60	8,25	3,85	6,05
Automne.	13,63	7,51	10,57	14,06	8,20	11,13
Moyenne annuelle.	15,05	7,62	11,43	15,30	8,52	11,91

CHATILLON-SUR-LOING.

TABLEAU X.

SAISONS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
1866.						
Hiver.......	7°54	1°53	4°53	6°85	1°69	4°22
Printemps....	14,52	7,14	10,84	14,54	6,35	10,45
Été........	21,11	15,07	18,09	23,07	14,68	18,89
Automne.....	14,43	6,44	10,43	14,84	9,48	12,16
Moyenne.....	14,35	7,54	10,94	14,82	8,02	11,42
1867.						
Hiver.......	8,05	2,33	5,19	7,94	3,59	5,77
Printemps.....	15,47	7,41	11,44	15,50	8,23	11,87
Été........	21,95	14,04	17,99	23,42	15,00	19,21
Automne.....	13,72	6,81	10,26	14,18	7,70	10,95
Moyenne.....	14,79	7,65	11,22	15,21	8,53	11,87
1868.						
Hiver.......	7,01	0,36	3,66	6,28	1,24	3,76
Printemps.....	16,23	7,63	11,93	16,03	8,30	12,16
Été........	23,30	15,00	19,15	24,86	16,36	20,61
Automne.....	13,63	7,51	10,57	14,06	8,20	11,13
Moyenne	15,05	7,62	11,43	15,30	8,52	11,91
Moyenne des trois années.....	14,73	7,60	11,23	15,11	8,36	11,73

LA JACQUEMINIÈRE.

1866.

TABLEAU XI.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1865). .	4°32	—2°60	0°81	4°28	—2°64	0°82
Janvier (1866). . .	7,88	1,52	4,70	8,22	1,17	4,70
Février.	8,86	—2,31	5,58	9,09	2,07	5,58
Hiver.	7,02	0,41	3,70	7,19	0,20	3,69
Mars.	9,45	1,43	5,44	9,62	0,80	5,21
Avril.	17,70	6,26	11,98	18,38	4,44	11,41
Mai.	16,13	6,02	11,04	18,97	4,45	11,71
Printemps.	14,43	4,57	9,50	15,66	3,23	9,44
Juin.	22,39	11,89	17,14	28,39	10,94	19,66
Juillet.	21,30	13,32	17,31	26,67	12,90	19,78
Août.	18,32	12,04	15,21	22,66	11,00	15,33
Été.	20,60	12,42	16,55	25,91	11,64	18,76
Septembre.	17,58	7,99	12,78	20,91	10,36	15,63
Octobre.	14,20	8,07	11,13	15,67	7,04	11,34
Novembre.	9,08	2,84	6,26	10,20	1,68	6,04
Automne.	13,82	6,30	10,06	15,59	6,42	11,00
Moyenne annuelle.	13,97	5,92	9,94	16,19	10,74	10,72

LA JACQUEMINIÈRE.

1867.

TABLEAU XII.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1866).	7°26	1°80	4°50	7°40	2°60	5°00
Janvier 1867). .	4,24	—1,79	1,20	4,64	—1,79	1,45
Février.	10,66	3,42	7,05	10,86	3,35	7,10
Hiver.	7,38	1,14	4,25	7,63	1,38	4,50
Mars.	10,54	1,84	6,20	10,58	1,47	6,02
Avril.	15,71	6,33	11,02	16,44	5,48	10,96
Mai.	17,78	8,77	13,27	23,54	7,57	15,55
Printemps.	14,67	5,64	10,16	16,85	4,84	10,84
Juin.	19,09	11,25	15,15	24,17	10,54	17,35
Juillet.	20,00	12,65	16,32	26,15	11,90	19,00
Août.	21,55	12,85	17,20	27,60	12,30	19,95
Été.	20,21	12,25	16,20	25,97	11,58	18,77
Septembre.	19,00	10,70	14,85	22,15	9,75	15,95
Octobre.	12,60	5,40	9,00	13,80	4,90	9,35
Novembre.	8,50	0,38	4,14	8,28	—0,45	3,90
Automne.	13,36	5,36	9,36	14,74	4,73	9,73
Moyenne annuelle.	13,90	6,09	9,99	16,29	5,63	10,96

LA JACQUEMINIÈRE.

1868.

TABLEAU XIII.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1867)..	11°18	5°46	8°33	11°25	5°33	8°29
Janvier (1868).. .	—2,32	—3,97	—3,15	—4,12	—4,85	—4,48
Février..	8,30	—0,75	3,77	8,00	—1,15	3,42
Hiver..	5,72	—0,25	2,99	—5,04	—0,22	2,61
Mars.	10,85	2,30	6,55	10,45	2,30	6,40
Avril.	15,05	4,45	9,75	14,90	4,60	9,75
Mai..	21,60	12,00	16,80	27,20	11,60	19,40
Printemps.. . . .	15,85	6,25	11,05	17,50	6,25	11,85
Juin.	22,00	11,75	16,85	27,65	11,25	19,45
Juillet..	24,30	14,30	19,30	28,40	14,05	21,20
Août.	21,25	13,60	17,40	24,30	13,50	18,90
Été..	22,50	13,20	17,85	26,75	12,95	19,85
Septembre. . . .	21,65	12,00	16,80	24,05	11,30	17,65
Octobre..	13,30	5,50	9,40	14,70	5,10	9,90
Novembre	7,05	1,70	4,40	7,20	1,90	4,55
Automne.	14,00	6,40	10,20	15,30	6,10	10,70
Moyenne annuelle.	14,51	6,40	10,46	16,12	6,27	11,20

LA JACQUEMINIÈRE.

TABLEAU XIV.

SAISONS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
1866.						
Hiver	7°02	0°41	3°70	7°19	0°20	3°69
Printemps	14,43	4,57	9,50	15,66	3,23	9,44
Été	20,69	12,42	16,55	25,91	11,61	18,76
Automne	13,82	6,30	10,06	15,59	6,42	11,00
Moyenne	13,99	5,92	9,95	16,09	5,37	10,73
1867.						
Hiver	7,38	1,14	4,25	7,63	1,38	4,50
Printemps	14,67	5,64	10,16	16,85	4,84	10,84
Été	20,21	12,25	16,20	25,97	11,58	18,77
Automne	13,36	5,36	9,36	14,74	4,73	9,73
Moyenne	13,90	6,09	9,99	16,29	5,63	10,96
1868.						
Hiver	5,72	—0,25	2,99	5,04	—0,22	2,41
Printemps	15,85	6,25	11,05	17,50	6,25	11,85
Été	22,50	13,20	17,85	26,75	12,95	19,85
Automne	14,00	6,40	10,20	15,30	6,10	10,70
Moyenne	14,51	6,40	10,46	16,12	6,27	11,20
Moyenne des trois années	14,14	6,15	10,14	16,17	5,76	10,97

LA SALVIONNIÈRE.

1866.

TABLEAU XV.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1866)..	4°91	2°01	1°47	4°20	1°72	1°24
Janvier (1867)...	18,46	0,76	4,31	7,96	0,16	4,66
Février......	9,40	2,74	5,88	8,82	2,32	5,57
Hiver.......	7,47	0,29	3,88	6,99	0,25	3,62
Mars.......	10,03	1,80	5,91	9,02	1,44	5,23
Avril.......	18,54	5,48	12,01	15,77	5,74	10,75
Mai........	18,20	5,93	12,06	16,75	6,27	11,51
Printemps....	15,50	4,40	9,99	13,85	4,48	9,16
Juin.......	24,18	11,43	17,81	24,66	12,47	18,55
Juillet......	22,22	12,74	17,45	24,23	13,30	18,76
Août.......	19,22	11,34	15,28	20,94	11,62	16,28
Été.......	21,87	11,84	16,85	23,28	12,46	17,86
Septembre....	18,40	10,69	14,54	19,85	10,97	15,41
Octobre.....	14,82	7,70	11,26	15,10	7,62	11,51
Novembre....	10,21	2,96	6,58	9,88	2,39	6,13
Automne.....	14,47	7,12	10,79	15,04	6,99	11,02
Moyenne annuelle.	14,85	5,91	10,38	14,79	6,04	10,42

LA SALVIONNIÈRE.

1867.

TABLEAU XVI.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1866)..	7°60	1°70	4°65	7°30	1°70	4°50
Janvier (1866).. .	5,10	2,30	3,70	5,00	2,10	3,50
Février.	11,70	7,90	9,80	10,90	4,40	7,70
Hiver..	8,10	3,95	6,05	7,75	2,75	5,25
Mars.	10,40	3,10	6,75	10,80	3,00	6,90
Avril.	16,30	6,30	11,30	14,30	6,30	10,30
Mai..	21,80	8,80	15,30	16,40	8,40	12,40
Printemps.. . . .	16,20	6,10	11,10	13,80	5,90	9,85
Juin.	21,70	11,20	16,40	21,60	11,30	16,45
Juillet.	21,00	12,10	16,55	22,80	12,10	17,45
Août.	22,60	12,30	17,45	23,00	12,40	17,70
Été..	21,75	11,85	16,80	22,45	11,95	17,20
Septembre. . . .	20,40	11,10	15,75	20,60	10,70	15,65
Octobre..	12,90	5,50	9,20	13,00	5,50	9,25
Novembre.. . . .	9,00	2,10	5,60	8,00	1,90	4,95
Automne.	14,10	6,25	10,15	13,85	6,05	9,95
Moyenne annuelle.	15,05	7,00	11,00	14,46	6,66	10,56

LA SALVIONNIÈRE.

1868.

TABLEAU XVII.

MOIS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1867).	3°40	—1°60	0°90	3°30	—1°60	0°85
Janvier (1868). .	4,40	—3,50	0,45	4,25	—3,06	0,59
Février.	8,40	—0,73	3,83	7,50	—0,60	3,45
Hiver.	5,40	—1,93	1,73	5,01	—1,75	1,63
Mars.	10,60	2,25	6,42	9,20	2,50	5,85
Avril.	15,10	4,80	9,95	13,90	5,20	9,55
Mai.	26,77	12,50	19,63	24,23	13,00	18,61
Printemps. . . .	17,49	6,51	12,00	15,77	6,90	11,33
Juin.	27,96	11,63	19,79	24,06	12,15	18,10
Juillet.	29,70	14,10	21,95	27,30	14,70	21,00
Août.	24,80	13,35	19,07	23,05	13,73	18,39
Été.	27,49	13,02	20,27	24,80	13,52	19,16
Septembre. . . .	25,78	11,88	18,83	22,60	12,45	17,50
Octobre.	14,95	5,70	10,30	13,90	6,10	10,00
Novembre. . . .	7,06	1,91	4,57	6,90	2,90	4,90
Automne.	15,93	6,49	11,22	14,46	7,15	10,80
Moyenne annuelle.	16,57	6,02	11,30	15,01	6,45	10,73

LA SALVIONNIÈRE.

TABLEAU XVIII.

SAISONS.	SOUS BOIS.			EN PLAINE.		
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
1866.						
Hiver.	7°47	0°29	3°88	6°99	0°25	3°62
Printemps.	15,59	4,40	9,99	13,85	4,48	9,16
Eté.	21,87	11,84	16,85	23,28	12,46	17,86
Automne.	14,47	7,12	10,79	15,04	6,99	11,02
Moyenne.	14,85	5,91	10,38	14,79	6,04	10,42
1867.						
Hiver.	8,10	3,95	6,05	7,75	2,75	5,25
Printemps.	16,20	6,10	11,10	13,80	5,90	9,85
Été.	21,75	11,85	16,80	22,45	11,95	17,20
Automne.	14,10	6,25	10,15	13,85	6,05	9,95
Moyenne.	15,05	7,00	11,02	14,46	6,66	10,56
1868.						
Hiver.	5,40	1,93	1,73	5,01	1,75	1,63
Printemps.	17,49	6,51	12,00	15,77	6,90	11,33
Été.	27,49	13,02	20,27	24,80	13,52	19,16
Automne.	15,93	6,49	11,22	14,46	7,15	10,80
Moyenne.	16,57	6,98	11,77	15,01	7,33	11,17
Moyenne des trois années.	15,49	6,6	11,78	14,75	6,66	10,70

LE CHARME.

1866.

TABLEAU XIX.

MOIS.	EN PLAINE.			VARIATIONS.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	
Décembre (1865)	5°52	0°05	2°78	
Janvier (1866)	8,66	2,51	5,58	
Février	8,32	3,21	5,76	
Hiver	7,50	1,92	4,71	
Mars	8,90	1,92	5,15	
Avril	17,10	5,67	11,38	
Mai	17,00	6,82	11,91	
Printemps	14,36	4,80	9,88	
Juin	24,22	12,83	18,52	
Juillet	24,00	13,53	18,76	
Août	2,71	12,18	16,44	
Été	22,98	12,85	17,91	
Septembre	19,82	1,92	4,71	
Octobre	15,35	4,80	9,58	
Novembre	9,58	12,85	17,91	
Automne	14,92	6,97	10,91	
Moyenne annuelle	14,94	6,63	10,78	

LE CHARME.

1867.

TABLEAU XX.

MOIS.	EN PLAINE.			VARIATIONS.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	
Décembre (1866)......	6°50	1°68	4°09	
Janvier (1867).......	3,00	—1,64	0,68	
Février..........	10,02	4,13	7,07	
Hiver............	6,50	1,39	3,94	
Mars............	9,50	2,20	5,85	
Avril............	14,53	6,23	10,38	
Mai............	20,00	9,31	14,65	
Printemps.........	14,69	5,91	10,30	
Juin............	21,37	11,53	16,45	
Juillet...........	22,68	12,98	17,83	
Août............	23,91	13,51	18,71	
Été............	22,65	12,67	17,66	
Septembre.........	20,74	11,27	16,00	
Octobre..........	12,63	5,75	9,19	
Novembre.........	8,18	0,96	4,67	
Automne..........	13,85	5,99	9,95	
Moyenne annuelle.....	14,42	6,49	10,46	

LE CHARME.

1868.

TABLEAU XXI.

MOIS.	EN PLAINE.			VARIATIONS.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	
Décembre (1867)......	3°96	—1°79	1°09	
Janvier (1868).......	5,20	—3,66	0,77	
Février...........	7,30	—0,71	3,29	
Hiver............	5,42	—2,05	1,71	
Mars............	9,50	2,26	5,88	
Avril............	14,10	4,95	9,52	
Mai.............	24,40	13,10	18,75	
Printemps.........	16,00	6,77	11,38	
Juin............	24,80	13,10	18,95	
Juillet...........	27,50	15,50	21,50	
Août............	23,05	14,25	18,65	
Été.............	25,11	14,28	19,70	
Septembre.........	23,15	13,25	18,20	
Octobre..........	13,65	6,10	9,87	
Novembre.........	6,60	1,18	3,89	
Automne..........	14,46	6,84	10,65	
Moyenne annuelle.....	15,25	6,46	10,86	

LE CHARME.

TABLEAU XXII.

SAISONS.	EN PLAINE.			VARIATIONS.
	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	
1866.				
Hiver.	7°50	1°92	4°71	
Printemps.	14,36	4,80	9,88	
Été..	22,98	12,85	17,91	
Automne..	14,92	6,97	10,91	
Moyenne..	14,94	6,63	10,78	
1867.				
Hiver..	6,50	1,39	3,94	
Printemps.	14,60	5,91	10,30	
Été..	22,65	12,67	17,66	
Automne..	13,85	5,99	9,95	
Moyenne..	14	6,49	10,46	
1868.				
Hiver..	5,42	2,06	1,71	
Printemps.	16,00	6,77	17,38	
Été..	25,11	14,28	19,70	
Automne..	14,16	6,84	10,65	
Moyenne des trois années. .	15,25	6,46	10,86	

TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES

POUR **1866, 1867, 1868.**

TABLEAU XXIII.

ANNÉES.		SOUS BOIS			EN PLAINE.		
		MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Châtillon-sur-Loing.	1866	14°35	7°54	10°94	14°82	8°02	11°42
	1867	14,79	7,65	11,28	15,21	8,53	11,87
	1868	15,06	7,62	11,43	15,30	8,52	11,91
Moyenne des trois années.		14,73	7,60	11,23	15,11	8,30	11,73
Montargis.	1866	»	»	»	15,10	7,10	11,13
	1867	»	»	»	15,49	6,54	11,19
	1868	»	»	»	15,67	6,87	11,27
Moyenne des trois années.		»	»	»	15,42	6,86	11,19
Le Charme.	1866	»	»	»	14,94	6,63	10,78
	1867	»	»	»	14,42	6,49	10,46
	1868	»	»	»	15,25	6,46	10,86
Moyenne des trois années.		»	»	»	14,87	6,53	10,76
La Jacqueminière.	1866	14,01	5,96	9,98	16,09	5,39	10,74
	1867	13,90	6,09	9,99	16,29	5,63	10,96
	1868	14,51	6,40	10,46	16,12	6,27	11,20
Moyenne des trois années.		14,14	6,15	10,14	16,17	5,76	10,97
La Salvionnière.	1866	14,65	5,91	10,38	14,79	6,04	10,42
	1867	15,05	7,00	11,02	14,46	6,66	10,56
	1868	16,57	6,02	11,30	15,01	6,45	10,73
Moyenne des trois années, ...		15,49	6,31	10,90	14,75	6,38	10,57

CHATILLON-SUR-LOING.

TABLEAU XXIV.

SAISONS.	VARIATIONS.		OBSERVATIONS.
	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.	
1866.			
Hiver...........	6°01	5°26	
Printemps.........	7,37	8,19	
Été............	6,04	8,39	
Automne.........	7,69	5,36	
Moyenne.........	6,85	6,80	0°05
1867.			
Hiver...........	5,72	4,35	
Printemps.........	8,06	7,27	
Été............	7,91	8,42	
Automne.........	6,91	6,48	
Moyenne.........	7,15	6,63	0,52
1868.			
Hiver...........	6,68	5,04	
Printemps.........	8,60	7,73	
Été............	8,30	8,50	
Automne.........	6,12	5,86	
Moyenne.........	7,42	6,78	
Moyenne des trois années..	7,14	6,74	+0,40

LA JACQUEMINIÈRE.

TABLEAU XXV.

SAISONS.	VARIATIONS.		OBSERVATIONS.
	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.	
1866.			
Hiver	6°61	6°99	
Printemps	9,86	12,30	
Été	8,27	14,49	
Automne	7,52	9,15	
Moyenne	8,06	10,72	—2,66
1867.			
Hiver	6,21	6,25	
Printemps	9,03	12,01	
Été	7,95	14,39	
Automne	8,00	10,01	
Moyenne	7,80	10,66	—2,86
1868.			
Hiver	5,97	5,26	
Printemps	9,60	11,25	
Été	9,30	13,80	
Automne	7,60	9,20	
Moyenne	8,12	9,88	—1,76
Moyenne des trois années	7,99	10,42	—2,43

LA SALVIONNIÈRE.

TABLEAU XXVI.

SAISONS.	VARIATIONS.		OBSERVATIONS.
	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.	
1866.			
Hiver.	7°18	6°74	
Printemps.	11,10	9,37	
Été.	10,03	10,82	
Automne.	7,35	8,06	
Moyenne.	8,91	8,74	+0°17
1867.			
Hiver.	4,15	5,00	
Printemps.	11,10	7,90	
Été.	9,90	10,50	
Automne.	7,85	7,80	
Moyenne.	8,00	7,80	+0,20
1868.			
Hiver.	3,47	3,26	
Printemps.	10,98	8,87	
Été.	14,47	11,28	
Automne.	9,44	7,31	
Moyenne.	9,59	7,68	+1,95
Moyenne des trois années.	8,83	8,08	+0,73

TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES

POUR 1866, 1867, 1868.

TABLEAU XXVII.

ANNÉES.	SOUS BOIS.	HORS DU BOIS.
	LA JACQUEMINIÈRE.	
1866	9°98	10°74
1867	9,99	10,96
1868	10,46	11,20
Moyenne..	10,14	10,93
	LA SALVIONNIÈRE.	
1866	10,38	10,42
1867	11,00	10,66
1868	11,30	10,72
Moyenne..	10,89	10,60
	LE CHARME BOURG.	
1866	»	10,78
1867	»	10,86
1868	»	10,46
Moyenne..	»	10,70
	MONTARGIS.	
1866	»	11,13
1867	»	11,19
1868	»	11,28
Moyenne..	»	11,19
	CHATILLON-SUR-LOING.	
1866	10,94	11,42
1867	11,22	11,87
1868	11,43	11,91
Moyenne..	11,19	11,73

JARDIN DES PLANTES DE PARIS.

1867.

TABLEAU XXVIII.

MOIS.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1866)	7°9	2°0	4°9
Janvier (1867)	4,8	0,4	2,6
Février	11,4	4,1	7,7
Hiver	8,0	2,1	5,0
Mars	9,6	1,2	5,4
Avril	15,0	6,6	10,8
Mai	19,7	8,7	14,2
Printemps	14,8	5,5	10,1
Juin	21,7	11,2	16,4
Juillet	23,4	12,7	18,0
Août	24,9	13,9	19,4
Été	23,3	12,6	17,9
Septembre	20,8	11,0	15,9
Octobre	14,2	5,5	9,9
Novembre	9,0	1,0	5,0
Automne	14,6	5,8	10,3
Moyenne annuelle	15,2	6,5	10,8

JARDIN DES PLANTES DE PARIS.

1868.

TABLEAU XXIX.

MOIS.	MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYENNE.
Décembre (1867).....	En 1868 les observations ont été interrompues par suite du déplacement de l'observatoire.		
Janvier..........			
Février..........			
Hiver...........			
Mars...........			
Avril...........			
Mai............			
Printemps........			
Juin...........			
Juillet..........			
Août...........			
Été............			
Septembre........	23°5	13°2	18°3
Octobre.........	14,7	6,9	10,8
Novembre........	7,5	2,4	4,9
Automne.........	15,2	7,5	11,3
Moyenne annuelle.....			

INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE.

MÉMOIRE

SUR LES

QUANTITÉS D'EAU TOMBÉES

PRÈS ET LOIN DES BOIS

PAR MM. BECQUEREL ET ED. BECQUEREL

Lu dans la séance du 5 avril 1869.

Ce travail fait suite à celui que nous avons présenté, mon fils et moi, sur la température de l'air loin et près des bois, dans cinq localités de l'arrondissement de Montargis (Loiret). Notre but a été non-seulement de faire connaître les quantités d'eau tombées, mais encore de les rattacher à un principe général qui régit la chute de la pluie, depuis une certaine distance des côtes de l'Océan jusqu'aux montagnes les plus élevées du centre de la France, principe que M. Belgrand

a bien établi dans son travail sur le régime des pluies dans les bassins de la Seine, de la Loire et de leurs affluents.

Mais avant d'en faire connaître les résultats, il est nécessaire, pour se rendre compte de l'influence des bois sur les pluies, de montrer d'abord les causes qui interviennent, en général, sur leur chute.

Toute cause qui produit un refroidissement dans une masse gazeuse saturée de vapeur d'eau, à une température quelconque, détermine une précipitation d'eau, dont la quantité dépend du degré de refroidissement. Il peut donc en résulter, suivant ce degré, un léger brouillard, une bruine ou des gouttes de pluie.

M. Babinet, dans la théorie ingénieuse qu'il a donnée de la pluie, envisage comme il suit le refroidissement produit dans une masse d'air humide. Lorsqu'un gaz se dilate, il y a abaissement de température; or les masses humides transportées par les vents montent ou descendent suivant le relief du sol. Si elles montent, la pression qu'elles supportent devient moindre, leur température s'abaisse, le degré d'humidité augmente, et si les masses sont au maximum d'humidité, la vapeur d'eau se condense, et il y a pluie.

Supposons un vent soufflant de la mer et par conséquent humide, et rencontrant une montagne d'une hauteur limitée ; ce courant d'air sera refoulé sur lui-même, s'élèvera en glissant sur la surface de la montagne; la température s'abaissera en s'élevant, et, suivant la hauteur de la montagne, la température de l'air et son degré d'humidité, il pourra y avoir de la pluie sur un des versants et beau temps sur le versant opposé : il doit donc pleuvoir davantage sur les montagnes que dans les plaines; mais il y a des excep-

tions dont il faut tenir compte dans la discussion des observations, telles que la direction de la montagne par rapport aux vents pluvieux, celles des vallées adjacentes, leur largeur, l'inclinaison des pentes, etc.

On peut en déduire cette conséquence que, lorsqu'une masse d'air humide, poussée par les vents, rencontre des montagnes, des bois, surtout des bois touffus d'une certaine étendue, dans ce cas, des effets du même genre sont produits : une partie de la masse d'air s'écoule entre les arbres, sa marche se ralentit à cause du frottement qu'elle éprouve de la part des arbres ; mais, en raison de la loi d'égal débit, l'air qui viendra après celui qui a été ralenti dans sa marche donnera lieu à une élévation dans la masse gazeuse, et il s'ensuivra alors les effets dont on vient de parler.

Ces préliminaires posés, on conçoit que lorsqu'une masse d'air plus ou moins saturée de vapeur venant du sud-ouest, traverse une contrée au-delà de laquelle se trouve une vaste forêt, le régime des pluies en avant de celle-ci pourra ne pas être changé, si l'état hygrométrique de l'air n'est pas influencé par la forêt ; mais il pourra pleuvoir au delà, d'après les principes précédemment exposés. Si au lieu d'une forêt il n'existe qu'un bois de peu d'étendue, les effets seront moins sensibles. On voit, d'après ce qui précède, combien est complexe l'influence des forêts sur les pluies.

C'est un motif pour étudier cette question dans un grand nombre de localités. Il n'est nullement question, dans ce Mémoire, de l'influence des forêts sur les pluies et les sources.

Les observations udométriques ont été recueillies dans les mêmes localités que celles qui ont été faites sur la tempéra-

ture de l'air, sous bois et hors des bois, en 1866, 1867 et 1868 (*voir le Compte rendu* de la séance du 22 mars dernier). Ces localités sont situées dans une contrée entrecoupée de vallées, de plaines cultivées et de bois de peu d'étendue, à l'exception de Montargis, qui se trouve à 1 ou 2 kilomètres en avant de la forêt de ce nom, par rapport aux vents de pluie (sud-ouest et ouest).

Cinq tableaux (cotés 1, 2, 3, 4, 5) donnent les quantités d'eau tombées par mois, par saison et annuellement, dans chacune des cinq localités précédemment indiquées ; on en tire les conséquences suivantes :

	mill.
La Jacqueminière	688, 33
Le Charme	688, 23
Montargis	684, 35
Châtillon	666, 88

Les observations de la cinquième localité ayant été interrompues en 1867, et donnant sensiblement les mêmes quantités d'eau que le Charme, on peut admettre également pour la Salvionnière 688 millimètres.

Les différences, entre les quantités moyennes d'eau tombées pendant trois années sont assez faibles pour qu'on puisse en conclure que le régime des pluies est à peu près le même dans une contrée de 8 ou 10 lieues d'étendue, composée de bois et de terres cultivées; dans les plaines, l'influence des bois disséminés çà et là ne s'est donc pas fait sentir sur les moyennes annuelles des quantités d'eau tombées.

Si l'on compare les quantités d'eau tombées dans chaque saison en 1866, 1867 et 1868, dans quatre localités, on trouve 9 maxima en été, 3 au printemps, 3 en automne.

M. Parant se livre depuis longtemps, à Montargis, avec beaucoup de soin et d'intelligence, à des observations météorologiques qu'il a bien voulu nous communiquer : il a constaté que la plus grande quantité d'eau tombée de 1855 à 1859 a eu lieu en automne, qu'il en est de même de 1865 à 1866, et qu'en y comprenant 1867 et 1868, formant en tout une période de neuf années, on a eu :

	mill.
Hiver	123,98
Printemps	170,90
Été	166,34
Automne	169,53

c'est-à-dire qu'il y a une répartition presque égale de pluie au printemps, en été et en automne, le minimum ayant eu lieu en hiver.

Si l'on ne considère que les quatre dernières années, on trouve que la plus grande quantité d'eau est tombée deux fois en été (1865 et 1868), une fois en automne (1867) et une fois au printemps (1867). On voit par là qu'à Montargis il y a une grande irrégularité dans les époques des maxima et des minima : il en est à peu près de même dans les autres localités ; cependant les maxima ont plutôt lieu en été et en automne qu'au printemps, et les minima en hiver, comme à Montargis.

Cette distribution des pluies est peu favorable à la culture de la vigne ; car la maturité du raisin s'achevant dans les mois de juillet et d'août, si, pendant ces deux premiers mois, le raisin n'a pas reçu la quantité de chaleur nécessaire à sa maturité, ce qui arrive ici à cause des pluies d'été et d'automne, dont l'effet est de refroidir l'atmosphère, on a alors des vins

de médiocre qualité : c'est précisément ce qui a lieu fréquemment dans les localités où les observations ont été faites. C'est un motif quand on veut cultiver la vigne sous nos latitudes, avec le désir d'avoir du vin de bonne qualité, de commencer par examiner si la contrée est ou non à pluie d'été; si elle n'est pas à pluie d'été, cette condition, avec la nature du sol calcaire ou siliceux et l'exposition, assure le succès de la culture.

Comparons maintenant les quantités de pluie précédemment indiquées à celles qui tombent dans les bassins de la Seine, de la Loire et de leurs affluents.

M. Belgrand, auquel on doit d'importants travaux sur les phénomènes udométriques dans ces bassins et les plateaux adjacents, est arrivé à cette conséquence, que la quantité d'eau tombée en moyenne va en augmentant avec l'altitude, mais non pas dans un rapport proportionnel à la différence de niveau.

Ainsi à Montpezat, dans la Loire-Inférieure, pour 1000 mètres d'élévation, il y a $1^{m},560$ de pluie, tandis que, dans le département de l'Allier, pour 1075 mètres d'élévation, il n'y a que $0^{m},690$ de pluie.

Dans la Loire supérieure, à Saulieu, pour 310 mètres d'élévation, il y a 1 mètre d'eau, tandis qu'à Massiac (bassin de l'Allier), pour 540 mètres d'altitude, il n'y a que $0^{m},690$ d'eau.

Pour expliquer ces différences, il ne faut pas perdre de vue que la quantité d'eau tombée dans les bassins et les vallées dépend non-seulement de l'altitude, mais encore de leur direction par rapport aux vents de pluie, de leur largeur, de

la rapidité des vents, de l'inclinaison des pentes et des abris en y comprenant les bois.

Revenons aux quantités d'eau tombées dans les cinq localités de l'arrondissement de Montargis.

Si en partant de Paris, dont l'altitude au niveau de la Seine vis-à-vis de la Monnaie, est de 32^{m},35, on remonte la Seine jusqu'à Moret, où se jette le Loing, et qu'on remonte cette rivière jusqu'à Montargis, dont l'altitude est de 116 mètres, le terrain va sans cesse en s'élevant au-dessus du niveau de la mer jusque dans les quatre localités indiquées, puisque le Loing traverse le canton de Châtillon-sur-Loing. Or, dans les localités du bassin de la Seine, à Paris, et plateaux adjacents, il est tombé en moyenne, pendant 1866, 1867 et 1868, 0^{m},610, et en onze années, annuellement, 0^{m},549, tandis que, dans les cinq localités de l'arrondissement de Montargis, dont l'altitude est 83^{m},55 au-dessus de celle de Paris, il en est tombé annuellement en moyenne, en trois ans, 0^{m},682, c'est-à-dire $\frac{1}{8}$ de plus que dans les environs de Paris, et $\frac{1}{5}$ si l'on prend les onze années. Ce résultat confirme donc l'augmentation d'eau tombée avec l'altitude, et s'explique très-bien d'après la théorie de M. Babinet mentionnée précédemment.

RELEVÉ DES PLUIES TOMBÉES
A L'OBSERVATOIRE DU JARDIN DES PLANTES
DE PARIS.

MOIS.	1867.	1868.
Décembre.	41°275	29°500
Janvier.	53,275	37,250
Février.	43,125	17,675
Hiver.	140,675	84,125
Mars.	53,150	20,750
Avril.	69,700	81,125
Mai.	90,625	20,875
Printemps.	213,475	122,750
Juin.	49,350	48,000
Juillet.	77,550	33,145
Août.	54,275	74,700
Été.	181,675	155,845
Septembre.	37,675	45,650
Octobre.	36,325	89,025
Novembre.	18,250	19,400
Automne.	92,250	154,075
Moyenne annuelle. . . .	627,575	516,715

MONTARGIS.

QUANTITÉ D'EAU TOMBÉE.

MOIS.		1866.		1867.		1868.	
		mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
Hiver	Décembre	3,42	121,16	48,86	144,66	36,98	103,57
	Janvier	48,03		58,56		48,15	
	Février	69,71		37,24		18,44	
Printemps	Mars	88,15	179,82	92,37	253,23	40,89	178,70
	Avril	33,47		49,01		64,74	
	Mai	58,20		111,85		73,07	
Été	Juin	40,07	181,99	67,12	154,65	46,37	232,33
	Juillet	63,98		60,16		99,04	
	Août	77,94		27,47		86,92	
Automne	Septembre	117,55	230,97	24,55	110,92	45,00	161,06
	Octobre	69,51		71,94		100,15	
	Novembre	43,91		14,43		15,93	
Total de l'année		713,94		663,46		675,66	

MOYENNES DES SAISONS :

	mill.
Hiver	123,66
Printemps	205,85
Été	189,66
Automne	167,65
Somme des trois années	2053,06
Moyenne	684,35

CHATILLON.

QUANTITÉS D'EAU TOMBÉE.

MOIS.		1866.		1867.		1868.	
		mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
Hiver	Décembre	4,0	149,0	65,5	157,3	45,5	122,5
	Janvier	56,5		60,8		51,6	
	Février	88,5		41,0		25,4	
Printemps	Mars	81,2	157,7	65,3	162,9	21,6	137,3
	Avril	37,0		40,1		54,6	
	Mai	39,5		57,5		61,1	
Été	Juin	40,5	222,9	33,2	161,2	15,7	194,2
	Juillet	48,1		71,6		52,8	
	Août	134,3		56,4		125,7	
Automne	Septembre	134,8	229,2	34,4	204,1	47,0	108,2
	Octobre	42,7		96,4		53,3	
	Novembre	51,7		73,3		7,9	
Total de l'année		758,8		685,5		562,2	

MOYENNES DES SAISONS :

	mill.
Hiver	142,93
Printemps	152,63
Été	192,76
Automne	180,59
Somme des trois années	2006,5
Moyenne	666,88

LA JACQUEMINIÈRE.

QUANTITÉS D'EAU TOMBÉE.

MOIS.		1866.		1867.		1868.	
Hiver	Décembre	mill. 3,40	mill. 156,80	mill. 18,00	mill. 123,60	mill. 33,30	mill. 112,50
	Janvier	53,40		48,90		60,50	
	Février	100,00		56,70		18,70	
Printemps	Mars	83,70	173,50	86,00	229,80	51,20	149,20
	Avril	35,10		57,80		83,00	
	Mai	54,70		86,00		15,00	
Été	Juin	58,20	254,30	44,70	174,60	37,00	163,40
	Juillet	84,40		103,60		46,00	
	Août	111,70		26,30		80,40	
Automne	Septembre	152,40	250,10	21,00	120,40	39,30	158,60
	Octobre	42,20		83,30		105,10	
	Novembre	55,50		16,10		14,20	
Total de l'année		834,70		648,30		583,70	

MOYENNES DES SAISONS :

	mill.
Hiver	180,97
Printemps	184,17
Été	197,00
Automne	176,00
Somme des trois années	2066,70
Moyenne	688,90

LA SALVIONNIÈRE.

QUANTITÉS D'EAU TOMBÉE.

MOIS.		1866.		1867.		1868.	
Hiver.. . .	Décembre.. .	mill. 1,50	mill. 147,70	mill. 67,50	mill. 125,00	»	»
	Janvier. . . .	60,90		20,00		»	
	Février. . . .	85,30		37,50		»	
Printemps..	Mars.	88,00	179,70	82,20	223,00	»	
	Avril.	58,70		58,60		»	
	Mai..	33,00		82,20		mill. 50,00	
Été.. . . .	Juin.	57,00	281,40	60,70	169,10	9,00	
	Juillet. . . .	110,50		67,00		»	
	Août.	113,90		41,40		18,50	
Automne...	Septembre.. .	134,60	211,20	23,40	121,80	37,40	mill. 138,70
	Octobre.. . .	39,60		82,40		80,30	
	Novembre.. .	37,00		16,10		21,00	
Total de l'année..		820,00		638,90			

MOYENNES DES SAISONS DE 1866 ET 1867 :

	mill.
Hiver..	136,35
Printemps.	201,35
Été	225,25
Automne..	166,50

LE CHARME.

QUANTITÉS D'EAU TOMBÉE.

MOIS.		1866.		1867.		1868.	
Hiver	Décembre	mill. 1,50	mill. 151,00	mill. 50,00	mill. 106,00	»	mill. 88,00
	Janvier	59,50		20,00		mill. 61,00	
	Février	90,00		36,00		27,00	
Printemps	Mars	103,00	188,50	75,00	181,50	55,00	185,80
	Avril	44,50		49,50		48,50	
	Mai	41,00		60,00		82,30	
Été	Juin	8,20	201,70	69,50	236,80	17,00	200,40
	Juillet	81,00		116,00		58,50	
	Août	112,50		51,30		124,90	
Automne	Septembre	144,50	231,00	32,50	144,00	30,50	138,00
	Octobre	41,50		81,00		82,00	
	Novembre	45,00		30,50		25,50	
Total de l'année		772,20		671,30		612,20	

MOYENNES DES SAISONS :

	mill.
Hiver	115,00
Printemps	186,30
Été	212,70
Automne	171,00
Somme des trois années	2055,70
Moyenne	688,23

OBSERVATIONS PLUVIOMÉTRIQUES

FAITES DANS LA VILLE DE PARIS.

ANNÉES.	STATIONS. BASSIN DE PASSY Altitude 77m570.		BASSIN DE MONCEAUX Altitude 52m616.		BASSIN DE VAUGIRARD Altitude 49m580.		COMPTEUR DE LA VILLETTE Altitude 54m380.		RÉSERVOIR DE MÉNILMONTANT Altitude 50m650.		BASSIN SAINT-VICTOR Altitude 49m690.		BASSIN DU PANTHÉON Altitude 67m740.		ÉCLUSE DE LA MONNAIE Altitude 32m85.		MOYENNES.
	Hauteur d'eau en millim.	Nombre de jours de pluie.	Hauteur d'eau en millim.	Nombre de jours de pluie.	Hauteur d'eau en millim.	Nombre de jours de pluie.	Hauteur d'eau en millim.	Nombre de jours de pluie.	Hauteur d'eau en millim.	Nombre de jours de pluie.	Hauteur d'eau en millim.	Nombre de jours de pluie.	Hauteur d'eau en millim.	Nombre de jours de pluie.	Hauteur d'eau en millim.	Nombre de jours de pluie.	
	mm	j.	mm	j.	mm	j.	mm	j.	mm	j.	mm	j.	mm	j.	mm	j.	mm
1858	417,70	132	458,30	119	578,50	110	486,90	159	483,80	125	483,60	119	522,70	131	»	»	494,50
1859	513,80	156	575,40	133	550,80	134	597,20	186	608,40	152	626,20	170	637,40	171	»	»	592,17
1860	603,00	192	653,50	174	650,90	171	739,40	208	663,10	183	836,20	224	689,40	189	»	»	690,80
1861	437,80	122	429,50	110	398,80	115	508,90	142	491,40	121	514,10	165	536,20	142	»	»	473,30
1862	498,30	118	527,10	144	451,10	145	607,60	184	548,90	135	627,10	187	577,10	140	»	»	548,60
1863	414,70	101	432,20	106	412,40	125	522,30	138	448,50	101	472,60	135	456,80	120	»	»	451,40
1864	391,30	103	428,10	110	326,90	113	503,00	138	357,80	84	397,50	114	461,60	127	»	»	409,59
1865	460,50	130	573,90	134	536,10	151	589,90	160	541,60	127	587,00	143	596,70	147	»	»	556,40
1866	651,00	163	696,90	153	564,30	163	970,90	184	636,20	160	700,80	180	678,70	161	651,30	105	667,00
1867	644,90	139	667,50	142	589,00	166	661,50	179	641,10	165	673,30	173	601,50	127	621,20	188	637,90
1868	534,40	131	560,50	131	534,70	153	576,80	167	581,70	168	459,20	107	488,50	96	554,90	170	536,30
Moyennes de 11 années de 1858 à 1868	512,40	137	545,72	132	509,32	141	537,95	168	545,69	138	579,78	156	567,87	141	609,13	187	

Moyenne des sept premières stations. . . . $0^m549,82$

SEPTIÈME MÉMOIRE

SUR

LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES

PAR M. BECQUEREL
Membre de l'Institut.

Lu dans la séance du 7 juin 1869.

PREMIÈRE PARTIE

Le mémoire que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie sert en quelque sorte d'introduction aux recherches que j'ai entreprises sur les applications des courants électro-capillaires à la production des actions électro-chimiques dans les corps organisés vivants, production qui est la conséquence du mode d'action de ces courants qui se manifestent toutes les fois que deux liquides sont séparés par un tissu, une membrane, ou une cloison à pores capillaires.



Ce mémoire est divisé en quatre chapitres, dont voici les titres.

CHAPITRE PREMIER. — De la force électro-motrice des liquides employés dans les couples électro-capillaires et formés de composés inorganiques, et de ses rapports avec les actions électro-capillaires.

CHAPITRE DEUXIÈME. — Expériences relatives au principe fondamental des phénomènes électro-capillaires et des effets produits.

CHAPITRE TROISIÈME. — Des courants électro-capillaires dans les corps organisés vivants, de leur intervention comme force chimique dans les fonctions organiques.

CHAPITRE QUATRIÈME. — Des courants électro-capillaires dans les végétaux.

CHAPITRE PREMIER.

De la force électro-motrice des liquides employés dans les couples électro-capillaires et de ses rapports avec les actions électro-capillaires.

---

§ Ier. *Considérations générales sur la transformation des forces dont l'électricité fait partie, dans les espaces capillaires.*

Depuis cinquante ans, le but constant de mes travaux a toujours été de provoquer les affinités entre deux corps, à l'état solide, liquide ou gazeux, à l'aide des effets électriques produits par des moyens mécaniques, physiques et chimiques; d'un autre côté, l'électricité agissant comme force mécanique, physique et chimique, j'ai dû naturellement être toujours partisan de la transformation des forces qui régissent la matière. Mes recherches actuelles sur les actions électro-capillaires en sont une nouvelle preuve. J'ai montré effectivement que ces actions sont dues au concours simultané des affinités, de l'attraction moléculaire et de l'électricité dégagée dans les espaces capillaires, au contact de deux liquides; de la réaction entre ces deux liquides résulte un dégagement d'électricité qui se transforme en courant électrique

au moyen de la couche liquide infiniment mince qui adhère aux parois de ces espaces, laquelle se comporte comme un corps solide conducteur. De là découle ce principe fondamental que deux liquides conducteurs de l'électricité, séparés par un espace capillaire ou une membrane qu'ils mouillent, constituent un couple voltaïque formant un circuit fermé et donnant lieu à une décomposition électro-chimique, quand la force électro-motrice de ces liquides a une intensité suffisante pour que le courant électro-capillaire qui en résulte ait une force suffisante pour vaincre l'affinité des composants.

L'endosmose et la dialyse interviennent quand on opère avec du papier parcheminé ou des membranes organiques, mais moins avec des tubes fêlés; car à peine si l'on aperçoit un changement de niveau dans la hauteur des liquides contenus dans ces tubes ou dans les éprouvettes où ils plongent, à moins d'effiler l'extrémité supérieure du tube; aussi, est-ce avec ces derniers que les actions électro-capillaires sont moins complexes puisqu'elles ne dépendent que des affinités qui produisent l'électricité et de l'attraction exercée par les liquides sur les surfaces des espaces capillaires. La différence tient sans doute à ce que la surface de contact est beaucoup moins grande dans les tubes fêlés que dans les membranés. La dialyse intervient surtout en opérant avec des dissolutions alcalines de silice et d'alumine ou d'autres dissolutions contenant des colloïdes qui ne peuvent traverser les cloisons capillaires; mais, alors, sous l'influence de l'électricité, il y a cristallisation ou tendance à la cristallisation des bases tenues en dissolution, lesquelles sont séparées par l'action des forces électro-capillaires.

Voici un exemple où l'action électro-capillaire est vaincue par la force d'endosmose. On a introduit dans le tube inté-

rieur de l'appareil, fermé avec du papier parcheminé, une dissolution d'aluminate de potasse marquant 16°, à l'aréomètre, et dans l'éprouvette, où plonge le tube, de l'acide chlorhydrique étendu de trois fois son volume d'eau : l'appareil a été exposé pendant 24 heures à une température de 8° au-dessous de zéro, on a obtenu de l'alumine en gelée, dans le tube qui contenait l'aluminate; l'endosmose ayant transporté l'eau acidulée dans la dissolution d'aluminate contenue dans le tube, l'acide a saturé la potasse, et l'alumine s'est déposée à l'état gélatineux comme dans les cas ordinaires : le courant électro-capillaire allait de l'aluminate à l'eau acidulée, comme dans les appareils électro-capillaires servant à la réduction des métaux; il était donc dirigé dans un sens opposé au courant d'endosmose, qui a vaincu alors l'action du premier.

En opérant à la température ordinaire et ajoutant moins d'eau à l'acide, on a obtenu de l'alumine cristallisée en fuseau dont voici la composition :

Alumine...........................	63,190	3,203
Eau...............................	6,809	1,008

Ce composé est de l'alumine à trois équivalents d'eau A L² 3 Ho, et qui n'est autre que le minéral appelé gibsite.

Un couple électro capillaire est composé d'un tube fêlé, ou d'un tube non fêlé fermé par un bout avec du papier parcheminé et contenant l'une des deux dissolutions, et d'une éprouvette où se trouve l'autre dissolution, dans laquelle il plonge. Si l'on introduit dans chaque liquide une lame de platine fixée à un fil de même métal en réunissant les deux bouts libres de ces fils, on a alors un couple à courant constant,

quand l'une des deux dissolutions est oxydable et l'autre réductible; il suffit pour s'en convaincre d'introduire dans le circuit un galvanomètre dont l'aiguille, quand elle est déviée, conserve sa position d'équilibre; cette constance dans le courant tient à ce que les lames de platine ainsi que les parois des espaces capillaires sont dépolarisées.

On donne plus d'extension à ces couples en les disposant comme il suit. Si dans un bocal contenant une dissolution de monosulfure de sodium et une lame de platine fixée à un fil de même métal, on plonge une demi-douzaine de tubes fêlés remplis d'acide nitrique et dans chacun desquels se trouve une lame de platine pourvue d'un fil de même métal, et si l'on réunit tous les fils que l'on met en communication avec l'autre, afin d'avoir plus de surface, on a un couple à courant constant qui peut fonctionner pendant très-longtemps sans perdre sensiblement de sa force, attendu que les liquides se mêlent d'autant moins facilement que les fissures sont plus étroites, lesquelles, en général, n'ont que quelques millièmes de millimètre de largeur.

Ce couple, même lorsque le circuit est ouvert, fonctionne en vertu des courants électro-capillaires; quand il est fermé, il se comporte comme un couple ordinaire, mais alors les deux courants sont dirigés en sens inverses.

§ II. *De la force électro-motrice des liquides dans les espaces capillaires.*

J'ai dit précédemment que les actions électro-capillaires sont d'autant plus fortes que la force électro-motrice des

liquides en contact dans les espaces capillaires était plus grande; il s'agit, pour le prouver, de déterminer la force électro-motrice d'un certain nombre des dissolutions que j'ai employées jusqu'ici dans mes expériences et de les comparer aux effets électro-chimiques produits; en général, il est d'usage, quand on découvre une action, de chercher les moyens de mesurer la force qui la produit; c'est là le but que je me suis proposé dans ce travail.

Deux éléments sont à prendre en considération dans l'étude des phénomènes électro-capillaires: 1° la conductibilité électrique des liquides employés, sans laquelle il n'y a pas d'effets électro-capillaires ni d'actions électro-chimiques. Il faut donc commencer par exclure les liquides qui ne jouissent pas de la propriété conductrice; 2° l'intensité de la force électro-motrice.

On entend par force électro-motrice la force en vertu de laquelle deux corps conducteurs de l'électricité en contact, dont l'un est solide et l'autre liquide ou bien tous les deux liquides, se constituent dans deux états électriques différents, soit parce qu'ils réagissent chimiquement l'un sur l'autre, soit parce qu'ils ne possèdent pas la même température, soit parce qu'on exerce un frottement l'un contre l'autre. Lorsque les deux corps ne sont pas conducteurs de l'électricité, le frottement seul provoque le dégagement de l'électricité.

On voit par là que le dégagement d'électricité, au contact de deux corps, est le résultat d'un mouvement moléculaire dû à une action chimique, physique ou mécanique; mais il ne sera question, ici, que de la force électro-motrice, produite au contact de deux liquides conducteurs réagissant chimiquement l'un sur l'autre dans les espaces capillaires.

L'action électro-motrice est continue et constante quand le circuit est fermé, tant que l'action chimique ne change pas : le courant électrique ne varie pas alors si les électrodes ne se polarisent pas. On verra dans les tableaux rapportés plus loin que l'intensité de la force électro-motrice est, en raison du degré d'affinité des deux liquides l'un sur l'autre, et de la facilité avec laquelle ils sont décomposés, et ils fournissent aux électrodes et, par conséquent, aux parois des corps solides, non conducteurs, dans les espaces capillaires, les éléments qui servent à les dépolariser, afin d'avoir des courants électriques continus et de même intensité.

Quand on prépare un appareil électro-capillaire, il faut au préalable s'assurer si la fêlure a une largeur suffisante pour que les liquides puissent y pénétrer par la capillarité ; on plonge à cet effet dans chaque liquide une lame de platine, en communication au moyen d'un fil de même métal avec un galvanomètre très-sensible : quand on n'observe pas de courant, on change le tube fêlé jusqu'à ce qu'on en trouve un qui donne un courant, puis on détermine son intensité et, par suite, la force électro-motrice comme il suit, au moyen de la boussole des sinus.

La formule de ohm qui donne l'intensité du courant en fonction de la force électro-motrice a pour expression :

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

I représente l'intensité des courants,
E sa force électro-motrice,
R la résistance du couple,
r la résistance additionnelle.

Pour un autre circuit on aura

$$I' = \frac{E'}{R'+r'},$$

d'où l'on tire

$$\frac{I}{I'} = \frac{E(R'+r')}{E'(R+r)};$$

or quand r et r' sont très-grands on peut supprimer les deux facteurs

$$(R'+r'),\ (R+r):$$

on a alors

$$\frac{I}{I'} = \frac{E}{E'}.$$

En prenant $\frac{I'}{E'}$ pour unité on en déduit $I = E$; l'intensité du courant dans ce cas donne la force électro-motrice, abstraction faite de la polarisation qui n'a pas lieu quand un des liquides s'oxyde et l'autre se désoxyde, ce qui est le cas où j'opère ordinairement, comme on le verra dans les tableaux qui contiennent les résultats obtenus.

On a joint à ces tableaux les forces électro-motrices produites au contact de la potasse, de l'ammoniaque et de plusieurs autres liquides réductifs, en ayant l'attention d'opérer avec de grandes lames de platine ayant au moins deux décimètres carrés de surface, afin d'affaiblir considérablement les effets de la polarisation, surtout quand le courant a peu d'intensité; les liquides oxydants ont été mis successivement dans le même tube capillaire, et les liquides oxydables dans l'éprouvette; on a représenté par 100 la force électro-motrice de la pile à acide nitrique, à zinc amalgamé, à eau acidulée à $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique et avec lame de platine dite pile de Grove. Les résultats consignés dans les tableaux sui-

vants doivent être pris en considération, quand on désire composer des couples électro-capillaires dans le but d'obtenir des métaux réduits de leurs dissolutions ou bien des combinaisons insolubles, cristallisées, attendu que la force électro-motrice des deux liquides en contact est l'élément principal d'où dépend l'énergie des actions chimiques.

Tableau 1.

DISSOLUTION dans LE TUBE FÊLÉ.	DENSITÉ.	DISSOLUTION dans L'ÉPROUVETTE.	Sinus de l'angle qui représente la force électro-motrice.	Force électro-motrice celle du couple acide nitrique amalgamé étant 100.
Potasse.	15° aréom.	Acide nitrique.	S. 43-6' = 78	54,2
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .	S. 3-00' = 52,0	36,1
id.	id.	Acide sulfurique. . . .	S. 1-36' = 33	23,3
id.	id.	Chlorure d'or.	S. 3-54' = 68	47,6
id.	id.	Nitrate d'argent.	S. 2-18' = 40,0	27,8
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 1-18' = 23	16,0
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .	S. 0-36' = 10	7,0
id.	id.	Chlorure de platine. . .	S. 2-48' = 49	36,8
Ammoniaque.	Ordinaire.	Acide nitrique.	S. 3-42' = 65	45,1
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .	S. 3-06' = 54	37,5
id.	id.	Acide sulfurique. . . .	S. 1-36' = 33	23,3
id.	id.	Chlorure d'or.	S. 4-12' = 74	50,1
id.	id.	Nitrate d'argent.	S. 2-18' = 40	27,8
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 1-18' = 28	21,
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .	S. 1-06' = 19	13,2
id.	id.	Chlorure de platine. . .	S. 2-48' = 49	34,0
Monosulfure de sodium.	12° aréom.	Acide nitrique.	S. 6-50' = 119	82,6
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .	S. 6-06' = 104	72,2
id.	id.	Acide sulfurique. . . .	S. 4-54' = 85	50,2
id.	id.	Chlorure d'or.	S. 3-54' = 68	47,6
id.	id.	Nitrate d'argent.	S. 2-18' = 40	27,8
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 4-48' = 84	58,3
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .	S. 4-00' = 70	48,7
id.	id.	Chlorure de platine. . .	S. 2-48' = 49	36,8
id.	id.	Ammoniaque.	S. 2-12' = 38	26,4
Persulfure de potassium.	id.	Acide nitrique.	S. 6-06' = 106	73,66
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .	S. 5-12' = 91	63,2
id.	id.	Acide sulfurique. . . .	S. 4-00' = 70	48,6
id.	id.	Chlorure d'or.	S. 5-36' = 97	67,3
id.	id.	Nitrate d'argent. . . .	S. 3-42' = 64	44,4
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 3-56' = 68	47,2
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .	S. 3-12' = 56	38,8
id.	id.	Ammoniaque.	S. 1-30' = 26	18,0

Tableau 2.

DISSOLUTION dans LE TUBE FÊLÉ.	DENSITÉ.	DISSOLUTION dans L'ÉPROUVETTE.	Sinus de l'angle qui représente la force électro-motrice.	Force électro-motrice celle du couple acide nitrique amalgamé étant 100.
Sulfo-carbonate de potasse.	12° aréom.	Acide nitrique.	S. 06-6' = 108	75,0
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .	S. 5-12' = 98	68,0
id.	id.	Acide sulfurique. . . .	S. 4-00' = 70	48,6
id.	id.	Chlorure d'or.	S. 5-18' = 101	70,1
id.	id.	Nitrate d'argent. . . .	S. 3-42' = 64	44,4
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 4-12' = 73	50,7
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .	S. 3-30' = 61	42,3
id.	id.	Ammoniaque.	S. 1-54' = 33	23,3
Persulfate de fer.	id.	Monosulfure de sodium.		79,0
Acide nitrique.	id.	Monosulfure de sodium.	S. 6-50' = 119	82,6
id.	id.	Sulfo-carbonate.	S. 6-12' = 108	75,0
id.	id.	Persulfure.	S. 6-06' = 106	73,66
id.	id.	Potasse.	S. 4-36' = 73	54,2
id.	id.	Ammoniaque.	S. 3-42' = 65	45,2
id.	id.	Acide tartrique.		
id.	id.	Acide oxalique.		
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .	S. 1-48' = 31	21,6
Pur et concentré.	id.	Pur et concentré.		
id.	id.	Acide sulfurique. . . .	S. 1-48' = 14	13,2
id.	id.	Chlorure d'or.	S. 1-00' = 17	11,9
id.	id.	Nitrate d'argent.	S. 1-36' = 28	12,5
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 2-00' = 35	24,3
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .	S. 2-42' = 48	33,2
id.	id.	Chlorure de platine. . .	S. 1-00' = 17	11,8
id.	id.	Aluminate de potasse. .	S. 3-02' = 56	38,9
id.	id.	Silicate de potasse. . .	S. 4-00' = 70	59,8
id.	id.	Acide chromique. . . .	S. 0-22' = 3	2,0
Acide chromique.	Concentré.	Monosulfure de sodium.	S. 6-42' = 116	80,5
id.	id.	Sulfo-carbonate.	S. 5-54' = 102	70,8
id.	id.	Persulfure.	S. 5-36' = 114	79,2
id.	id.	Potasse.	S. 4-18' = 75	52,0
id.	id.	Ammoniaque.	S. 3-00' = 32	22,2

Tableau 3.

DISSOLUTION dans LE TUBE FÊLÉ.	DENSITÉ.	DISSOLUTION dans L'ÉPROUVETTE.	Sinus de l'angle qui représente la force électro-motrice.	Force électro-motrice celle du couple acide nitrique amalgamé étant 100.
Acide chromique.	Concentrée.	Acide nitrique.	S. 0-02′ = 3	2,0
id.	id.	Acide tartrique.		
id.	id.	Acide oxalique.		
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .		
id.	id.	Acide sulfurique.	S. 2-30′ = 41	30,5
id.	id.	Chlorure d'or.		
id.	id.	Nitrate d'argent.		
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .		
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .		
id.	id.	Nitrate de zinc.		
Acide tartrique.	id.	Acide nitrique.		
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .		
id.	id.	Acide sulfurique. . . .		
id.	id.	Acide chromique. . . .	S. 1-18′ = 23	16,0
id.	id.	Chlorure d'or.	S. 1-00′ = 17	11,8
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 0-01′ = 17	1,2
id.	id.	Monosulfure de sodium.	S. 2-24′ = 42	27,7
id.	id.	Sulfocarbonate de potasse	S. 2-00′ = 35	24,3
id.	id.	Persulfure de potassium.	S. 1-54′ = 33	22,9
Acide oxalique.	id.	Acide nitrique.		
id.	id.	Acide chlorhydrique. . .		
id.	id.	Acide sulfurique. . . .		
id.	id.	Chlorure d'or.	S. 2-30′ = 44	30,5
id.	id.	Nitrate d'argent.		
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 0-54′ = 15	10,4
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .		
id.	id.	Monosulfure de sodium.	S. 2-42′ = 47	32,6
id.	id.	Sulfocarbonate.	S. 2-00′ = 35	24,3
id.	id.	Persulfure de potassium.	S. 2-00′ = 37	24,3
id.	id.	Acide chromique. . . .	S. 2-06′ = 37	25,7
Eau aciduléе par l'acide sulfurique à 1/10.	id.	Acide nitrique.	S. 2-30′ = 43	30,0
	id.	Acide chlorhydrique. . .		
id.	id.	Acide chronique.	S. 2-30′ = 44	30,5

Tableau 4.

DISSOLUTION dans LE TUBE FÊLÉ.	DENSITÉ.	DISSOLUTION dans L'ÉPROUVETTE.	Sinus de l'angle qui représente la force électro-motrice.	Force électro-motrice celle du couple acide nitrique amalgamé étant 100.
Eau acidulée par l'acide sulfurique à 1/10.	Concentrée.	Chlorure d'or.	S. 2-24' = 42	29,1
	id.	Nitrate d'argent.	S. 1-36' = 33	23,3
id.	id.	Nitrate de cuivre. . . .	S. 0-21' = 70	4,9
id.	id.	Nitrate de cobalt. . . .		
id.	id.	Sulfate de cuivre. . . .	S. 0-04' = 7	5,0
id.	id,	Chlorure de platine. . .	S. 0-30' = 8	5,6
id.	id.	Monosulfure de sodium.	S. 4-54' = 85	60,2
id.	id.	Sulfo-carbonate.	S. 4-00' = 70	48,6
id.	id.	Persulfure.	S. 4-00' = 70	48,6
id.	id.	Potasse.	S. 1-36' = 33	23,3
id.	id.	Ammoniaque.	S. 1-36' = 33	23,3
Eau chlorée.	Saturée.	Protosulfure de fer. . .	S. 3-00' = 52	36,1
id.	id.	Monosulfure de sodium.	S. 7-30' = 130	90,2
id.	id.	Sulfo-carbon. de potasse.	S. 5-54' = 103	71,5
id.	id.	Persulfure de potasse. .	S. 5-54' = 103	71,5
id.	id.	Solution de potasse. . .	S. 4-30' = 78	54,2
id.	id.	Solution d'ammoniaque.	S. 3-30' = 61	42,4
id.	id.	Eau acidulée à 1/10. .	S. 2-18' = 40	27,7
id.	id.	Dissolution de platine. .	S. 1-24' = 24	16,6
Eau oxygénée.	id.	Monosulfure de sodium.	S. 5-18' = 92	63,9
id.	id.	Sulfocarbonate.	S. 4-24' = 77	53,4
id.	id.	Persulfure.	S. 4-24' = 77	53,4
id.	id.	Potasse.	S. 2-36' = 45	31,2
id.	id.	Ammoniaque.	S. 2-12' = 38	26,4
Couple à sulfate de cuivre; eau acidulée à 1/10; zinc amalgamé.	id.	. . . .	S. 4-42' = 82	57,0
Eau acidulée et remplacée par l'eau.	id.	. . . .	S. 4-42' = 82	57,0

Tableau 5.

DISSOLUTION dans LE TUBE FÊLÉ.	DENSITÉ.	DISSOLUTION dans L'ÉPROUVETTE.	Sinus de l'angle qui représente la force électro-motrice.	Force électro-motrice celle du couple acide nitrique amalgamé étant 100.
Couple à acide nitrique; eau acidulée à 1/10, et zinc amalgamé.		. . . .	S. 8-18′ = 144	100,0
Mélange à parties égales d'acide sulfurique et d'acide nitrique.		Monosulfure de sodium.	S. 7-30′ = 130	90,0
		Sulfocarbonate de soude.	S. 6-00′ = 104	72,2
		Persulfure de potassium.	S. 6-24′ = 111	77,1

LIQUIDE OXYDANT.	DENSITÉ.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.		
		Monosulfure de sodium.	Sulfocarbonate de potasse.	Persulfure de potassium.
Mélange à parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique.	Concentré.	90,0	72,2	77,1
Acide nitrique.	id.	82,6	75,0	73,66
Acide chromique.	id.	80,5	70,8	79,20
Chlorure d'or.	id.	47,6	70,1	67,3
Nitrate d'argent.	id.	27,8	64,4	44,4
Nitrate de cobalt.	id.	48,7	42,3	38,8
Nitrate de cuivre.	id.	58,3	50,7	47,2
Persulfate de fer.				
Eau oxygénée.	id.	60,9	53,4	53,4
Couple à acide nitrique et zinc amalgamé.	id.	100,0	»	»
Couple à sulfate de cuivre et zinc amalgamé.	id.	57,0	»	»

Les résultats consignés dans les tableaux précédents mettent en évidence le fait important que j'avais annoncé, à savoir que les forces électro-motrices produites entre deux liquides différents, conducteurs de l'électricité, en contact dans les espaces capillaires, sont d'autant plus grandes que l'un des deux liquides est plus oxydant et l'autre plus réductible. Il en résulte alors que les parois humides de ces espaces sont constamment dépolarisées, de même que les lames d'or ou de platine qu'on y plonge et avec lesquelles on forme un circuit fermé. Ainsi le mélange à parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique a la plus grande force électro-motrice, (tableau 5, page 769, avec le monosulfure de sodium; vient ensuite l'eau chlorée avec le monosulfure de sodium (tableau 4, page 768).

On trouvera dans le tableau 5 les forces électro-motrices les plus grandes. Je rappelle qu'on a représenté par 100 la force électro-motrice du couple à acide nitrique de Grove.

On conçoit aisément les conséquences qu'on peut en tirer pour l'explication des élaborations diverses qui ont lieu dans les corps organisés dans ces corps, toutes les fois qu'une membrane ou un tissu quelconque sépare deux liquides dont l'un est oxydant, l'autre réductif : il en résulte un courant électro-capillaire agissant comme force chimique et dont l'action est d'oxyder l'un d'eux et de désoxyder l'autre; le sang artériel et le sang veineux se trouvent dans ce cas comme on le verra dans le chapitre suivant.

Les résultats consignés dans les tableaux montrent bien que les liquides les plus oxydants dans leur contact avec les liquides qui s'oxydent le plus facilement sont ceux qui don-

nent les forces électro-motrices les plus considérables, en même temps qu'ils donnent lieu à des courants constants, soit que l'on emploie pour établir le courant des lames de platine ou des espaces capillaires accessibles à ces liquides; j'ajouterai que le couple électro-capillaire formé d'un mélange à volume égal d'acide sulfurique et d'acide nitrique et une dissolution de monosulfure de sodium possède une force électro-capillaire qui ne diffère en moins que de $\frac{1}{10}$ de celle du couple à acide nitrique, tandis qu'elle est plus forte que celle du couple à sulfate de cuivre dans le rapport de 90 : 57, ou de 100 : 63, 3.

J'ai été conduit à comparer les forces électro-motrices contenues dans les tableaux précédents avec celles que M. Ed. Becquerel a obtenues dans ses recherches sur le dégagement de l'électricité dans les piles de Volta.

Le tableau suivant présente cette comparaison :

Tableau 6.

COUPLE.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE trouvée par M. EDMOND BECQUEREL.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE trouvée par M. BECQUEREL.
Zinc amalgamé; eau acidulée par l'acide sulfurique à 1/10; platine; acide azotique. . . .	100	100
Zinc amalgamé; eau acidulée par l'acide sulfurique; cuivre; eau saturée de sulfate de cuivre.	Variant de 57,83 à 58,50	En opérant avec une dissolution saturée ayant déjà servi et n'étant pas neutre. 57,0
Eau acidulée; sulfate de cuivre.	5,50	5,50
Eau acidulée; chlorure de platine.	7,75	5,6
Eau acidulée; acide azotique.	De 12 à 21	13,2
Eau acidulée; acide chromique..	27,80	30,5
Eau acidulée; eau chlorée.	37,25	27,7
Dissolution de potasse; acide azotique; or et lames de platine.	55,5	54,2
Persulfure de potassium; acide azotique.	72,50	73,66

Dans les expériences électro-capillaires, surtout quand il s'agit de déterminer la force électro-motrice de deux liquides, il faut, autant que possible, opérer avec des liquides dont les éléments, provenant d'une décomposition électro-chimique, entrent dans une nouvelle combinaison afin de dépolariser les parois des espaces capillaires servant d'électrodes, et d'avoir des actions continues, de même intensité, jusqu'à ce que la décomposition soit complète. Dans le cas où il y a polarisation des deux lames de platine ou de l'une d'elles, employées pour déterminer la force électro-motrice, il faut opérer alors rapidement avec des lames les plus larges possibles, afin d'en atténuer l'effet.

La grande puissance électro-motrice du monosulfure de sodium, dans son contact avec le chlorure d'or et le nitrate d'argent, indique assez la réduction métallique rapide qui a lieu; mais lorsqu'on opère avec la potasse et le nitrate de cuivre, la force électro-motrice n'étant plus que de 28,8 au lieu de 62, 6, à cause de la polarisation des parois de l'espace capillaire, il en résulte que le nitrate de cuivre est décomposé en sous-nitrate seulement, lequel se dépose sous forme d'arborisations sur les parois intérieures du tube fêlé contiguës à la dissolution de nitrate.

Le tableau précédent indique sensiblement la même détermination pour les couples à acide nitrique et à sulfate de cuivre, les couples à eau acidulée, et à sulfate de cuivre. Il n'y a de différence bien sensible que pour les deux couples à eau acidulée, acide chromique et lames de platine, à eau chlorée, et à eau acidulée. Ces différences tiennent probablement au degré de saturation des dissolutions et à leur pureté; les nombres donnés par M. Ed. Becquerel sont peut-être plus

exacts, ayant multiplié les expériences et varié les conditions; tandis que mon but a été de comparer les forces électro-motrices des liquides en vue d'évaluer approximativement les rapports entre les forces électro-motrices et les actions électro-capillaires produites.

§ III. *Des piles formées avec les couples électro-capillaires.*

La grande force électro-motrice de l'électricité dégagée dans les fissures, à en juger par l'énergie des actions chimiques produites et la difficulté extrême qu'éprouvent les liquides qui s'y trouvent à se mélanger, m'a engagé à réunir plusieurs couples électro-capillaires, au moyen de lames et fils de platine recueillant les électricités dégagées dans les fissures des tubes fêlés pour former une pile; ces fissures avaient environ 5 millièmes de millimètre de largeur, 5 centimètres de longueur et 2 millimètres d'épaisseur, présentant, chacune d'elles, par conséquent, un volume de $5^{mm. c.}$. On a comparé cette pile formée de deux éléments avec une autre composée également de deux couples et présentant une surface de contact relativement très-considérable, fonctionnant avec le zinc amalgamé, l'acide nitrique et l'eau acidulée avec l'acide sulfurique et un diaphragme en porcelaine dégourdie.

Chaque couple électro-capillaire était formée de 4 tubes fêlés semblables au précédent et présentant par conséquent, pour chaque couple, un volume égal à 2 millimètres cubes, et de fils de platine. Le diaphragme poreux de chaque couple à acide nitrique présentait une surface de 540 centimètres carrés, les deux surfaces de zinc avaient une surface de

614$^{cc.}$, les deux couples électro-capillaires fonctionnant avec le monosulfure de sodium et l'acide nitrique ordinaire et deux fils de platine ont donné en deux heures, en décomposant l'eau acidulée par l'acide sulfurique 0$^{cent.}$,42$^{c.}$ de gaz hydrogène, tandis qu'en opérant avec les deux couples à acide nitrique, zinc amalgamé et eau acidulée, on a obtenu dans le même temps 1$^{cc.}$,4, c'est-à-dire trois fois un peu plus de gaz, bien que les surfaces de contact fussent dans le rapport de 1 : 27000 : ce résultat tient à ce que, en prenant pour électrode des fils de platine, la grande disproportion entre les surfaces décomposantes disparaît, devant la forte tension de l'électricité, à l'extrémité des fils de platine.

En prenant pour électrodes deux lames de platine ayant chacune une surface de 30$^{c.c.}$, et opérant avec les deux couples à acide nitrique, à zinc amalgamé et eau acidulée, par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$, il s'est dégagé en une heure 4$^{c.c.}$,2 de gaz hydrogène, tandis qu'avec les deux couples à tubes fêlés, on a eu dans le même temps 0$^{c.c.}$,37, c'est-à-dire des quantités de gaz dans le rapport de 1 à 11, 30; or, comme les surfaces de contact étaient dans le rapport de 1 : 27000, on voit par là que les liquides qui se trouvent dans les espaces capillaires ne suivent pas la loi observée.

En général, comme l'a remarqué M. Edmond Becquerel, les liquides qui se trouvent dans les tubes capillaires paraissant avoir une conductibilité un peu plus grande que ne le comporte la loi, il semblerait donc que, dans les couples électro-capillaires, les liquides adhérant aux surfaces possèdent une conductibilité propre qui n'a pu encore être déterminée et qui est démontrée toutefois par l'existence des couples électro-capillaires aujourd'hui bien constatée.

Dans une autre série d'expériences, on a remplacé les fils et les lames de platine des couples électro-capillaires, par des conducteurs en charbon ayant de grandes dimensions.

Pour obtenir plus d'électricité, on a introduit dans chaque tube fêlé contenant de l'acide nitrique, un cylindre de charbon plein que l'on a placé dans un cylindre creux en contact avec une dissolution de monosulfure de sodium; au moyen de cette substitution, les quantités de gaz obtenues, comparées à celles données par la pile à acide nitrique et à zinc amalgamé, ont été dans le rapport de 1 : 5 au lieu de 1 : 11,3, sans l'emploi des charbons.

La pile électro-capillaire à charbon, dont le circuit ne restait fermé qu'à des intervalles éloignés, a conservé sa puissance pendant plusieurs mois, sans altération.

Deux couples électro-capillaires fonctionnant avec des fils de platine seulement suffisent pour décomposer l'eau acidulée par l'acide sulfurique d'une manière continue.

Les piles formées avec les couples électro-capillaires dont la constitution est très-simple et en raison de la constance de leur action prolongée, ont un avantage sur les autres piles, quand on ne recherche pas la quantité, mais bien la tension, seule condition à laquelle on ait égard dans les décompositions opérées au moyen des effets électro-capillaires; aussi peut-on l'employer avec avantage pour augmenter l'énergie de ces actions, en employant un ou deux couples électro-capillaires accessoires. Je vais en citer un exemple : on a pris un appareil composé d'un tube fêlé rempli de nitrate de cuivre et plongeant dans une dissolution de monosulfure alcalin ou de sulfo-carbonate; peu de temps après on a commencé à apercevoir sur les parois de la fissure du côté de la

dissolution métallique des dendrites de cuivre métallique; on a introduit un fil de cuivre en communication avec le pôle positif d'un couple électro-capillaire dans la dissolution de nitrate de cuivre et un fil de platine en communication avec le pôle négatif dans la dissolution de monosulfure. Dans ce cas, il est évident que la face de la fissure tournée du côté de l'électrode positif est devenue le pôle négatif; mais comme elle possédait déjà cette propriété en vertu de l'action électro-capillaire, il en est résulté une accélération bien marquée dans les effets électro-chimiques produits, ainsi que dans leur uniformité.

CHAPITRE II.

EXPÉRIENCES RELATIVES AU PRINCIPE FONDAMENTAL DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES ET A DIVERS EFFETS PRODUITS.

---

§ Ier. *Expériences relatives au principe fondamental.*

Voici quelques expériences qui sont de nature à montrer que le couple électro-capillaire est bien constitué comme on l'a dit précédemment, c'est-à-dire qu'il est formé de deux liquides différents séparés par une membrane ou une cloison quelconque, à pores capillaires, destinées à montrer que la face de la cloison ou de la membrane en contact avec la dissolution acide est le pôle négatif et l'autre le pôle positif du couple. On a formé un couple avec une dissolution de nitrate de cuivre et un autre d'aluminate de potasse; la première a été mise dans un tube fermé avec du papier parcheminé sur lequel on a appliqué une lame de platine percée d'ouvertures non capillaires; ce tube a été plongé dans la dissolution de nitrate de cuivre. On a appliqué également sur le revers du papier une autre lame de platine percée comme la précédente, l'appareil a été exposé pendant 48 heures à une température de 70 à 80°; il s'est déposé sur la lame de platine en contact avec la face positive des cristaux

d'alumine à trois équivalents d'eau, ayant au moins un millimètre de côté et dont quelques-uns paraissent avoir la forme de dodécaèdres à faces triangulaires ; cette substance est la gypsite, minéral qui n'a pas encore été trouvé cristallisé; sur l'autre face il s'est formé un agrégat de cristaux ayant pour composition :

Oxyde de cuivre	71,34
Acide azotique	20,55
Eau	8,00
	99,89

Cette composition donne la formule du sous-azotate de cuivre à deux équivalents d'eau et de l'oxyde de cuivre à un équivalent d'eau; cette expérience met bien en évidence la constitution du couple électro-capillaire, telle qu'elle a été décrite, puisque les effets produits sur les faces de la cloison l'ont été, dans ce cas-ci, sur les lames de platine plus conductrices que ces faces.

L'expérience suivante tend encore à confirmer la théorie que j'ai donnée de la constitution des couples électro-capillaires.

On a introduit dans le tube intérieur de l'appareil deux dissolutions, l'une d'aluminate de potasse marquant 10° à l'aréomètre, et dans l'éprouvette, une dissolution de silicate marquant 16°; cet appareil a été exposé pendant 48 heures dans une étuve chauffée à 70°, on a trouvé que la surface intérieure de la cloison en contact avec la dissolution d'aluminate de potasse, était recouverte de tubercules formés de petits cristaux d'alumine hydratée à 3 équivalents d'eau.

Ce couple électro-capillaire avait donc assez de puissance pour décomposer la dissolution d'aluminate; l'alumine qui joue le rôle d'acide se serait déposé naturellement sur la face positive, en contact avec la dissolution, tandis que la potasse aurait traversé la cloison pour se rendre sur l'autre face ou s'est répandue dans la dissolution de silicate de potasse, dont elle aurait augmenté la densité. Il arrive quelquefois que l'appareil ne donne aucun résultat. Voici comment on peut le concevoir : il y a dégagement d'électricité très-faible, à la vérité, au contact des deux dissolutions dans les pores de la cloison, lequel ne peut avoir lieu qu'autant qu'il y a réaction chimique entre elles, et, par conséquent, production de silicate d'alumine. Or les pores de la cloison s'obstruant peu à peu par la présence d'une matière blanche pulvérulente jusqu'au point d'anéantir après un certain temps les effets électro-capillaires ainsi que le dégagement de l'électricité qui est la conséquence de la réaction, la décomposition électro-chimique doit donc cesser.

Les résultats précédents m'ont amené naturellement à rechercher quels effets étaient produits en substituant successivement à la dissolution d'aluminate de potasse une dissolution de plomb, d'étain dans la potasse, etc., à la même densité que celle de la dissolution d'aluminate. Voici les effets obtenus avec la dissolution de plombate de potasse: on a obtenu sur la face positive, celle qui est en contact avec cette dissolution, de petits tubercules qui, broyés et vus au microscope, ont paru composés de très-petits cristaux doués de la double réfraction.

L'essai a montré qu'ils appartenaient au protoxyde hy-

draté de plomb. La dissolution de zinc a donné un oxyde hydraté qui n'est pas cristallisé.

Quant à la dissolution d'étain dans la potasse, elle a donné sur la face positive de très-petits cristaux d'oxyde hydraté d'étain.

Voyons jusqu'à quel point l'électricité n'interviendrait pas dans la production de l'alumine hydratée cristallisée.

Le moyen de s'en assurer est de chercher les effets électriques produits au contact des deux liquides séparés par une cloison capillaire.

Cet examen montre que la dissolution de silicate de potasse est positive par rapport à l'aluminate de la même base, mais à un très-faible degré, à la vérité, puisqu'il faut un galvanomètre d'une grande sensibilité pour l'accuser ; or comme le dissolvant est le même dans les deux liquides, il faut donc que le contact de la silice et de l'alumine dans la cloison capillaire d'où résulte un silicate d'alumine qui reste adhérent soit la cause du dégagement de l'électricité. Jusqu'ici l'alumine cristallisée à trois équivalents d'eau n'a pu être obtenue qu'avec une dissolution alcaline de cette substance, dans laquelle l'alumine joue le rôle d'acide, car en opérant avec le sulfate de même base et une dissolution alcaline on obtient au pôle négatif l'alumine à l'état gélatineux comme dans les précipitations ordinaires, ou à l'état d'alumine en plaques transparentes non cristallisées.

Le résultat suivant montre encore la fécondité des principes électro-capillaires, pour opérer soit des combinaisons, soit des décompositions.

Avec une dissolution formée d'un mélange à parties égales d'une dissolution saturée de chlorhydrate d'ammoniaque et

une autre également saturée de phosphate de la même base, introduite dans l'éprouvette, et mettant dans le tube une dissolution de nitrate de chaux saturée, il s'est produit d'abord une exosmose de la dissolution de nitrate dans l'autre; puis il s'est déposé sur la surface extérieure de la cloison dans la dissolution ammoniacale des cristaux de chlorophosphate de chaux.

L'expérience avait duré quatre jours.

Ces cristaux sont doués de la double réfraction.

Dans mon dernier mémoire sur les actions électro-capillaires, j'ai dit que la dissolution d'or, mise dans un tube fêlé qu'on plongeait dans une dissolution de monosulfure de sodium, était réduite et que l'or se déposait en cristallisant dans la fissure et sur la paroi adjacente; mais quand la fissure s'est élargie suffisamment pour que la dissolution d'or traverse la fissure, et qu'on opère avec de l'acide oxalique, comme liquide réductif, la réduction de l'or par ce dernier, au lieu de s'opérer immédiatement au contact des deux liquides, s'effectue sur la surface intérieure du tube qui contient l'acide, de manière à la dorer complétement, ce qui ne peut avoir lieu que par une action électro-capillaire. On peut concevoir cette action comme il suit: quand une molécule de chlorure d'or et une autre d'acide oxalique sont en contact, d'une part entre elles, et de l'autre une paroi humide, il y a production d'un courant électro-capillaire; la partie de la paroi qui touche la molécule de chlorure d'or est le pôle négatif du couple et l'or s'y dépose, tandis que la partie de l'autre paroi se recouvre du produit de la décomposition de l'oxyde oxalique qui se dissout aussitôt; l'action étant continue, la paroi finit par se dorer.

Dès l'instant que, dans les couples électro-capillaires dont le monosulfure alcalin et le nitrate de cuivre font partie, le dernier est décomposé avec réduction à l'état métallique du cuivre, on devait bien penser qu'en remplaçant le nitrate par l'acide nitrique, ce dernier serait décomposé; c'est ce qui arrive comme l'expérience le montre : il y a dans ce cas dégagement des gaz nitreux dans l'acide nitrique et oxydation du monosulfure.

§ II. *Des tentatives faites pour chercher la chaleur dégagée dans les actions électro-capillaires.*

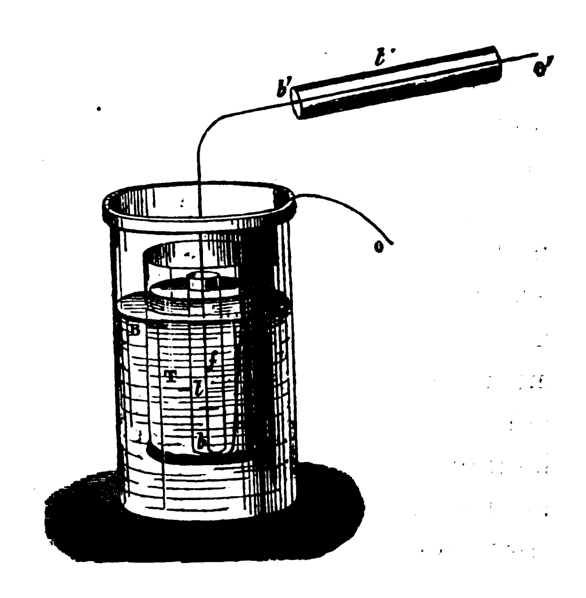
Il restait à étudier une question fondamentale qui se rattache à la théorie électro-chimique et par suite à la théorie électro-capillaire, puis à la transformation des forces ; question relative aux effets de chaleur produits dans les actions chimiques et les actions électro-capillaires. L'expérience suivante va fournir une nouvelle preuve à l'appui du principe que j'ai adopté depuis longtemps et que j'ai rappelé au commencement de ce mémoire, à savoir que la production de chaleur dans les actions chimiques est toujours accompagnée d'un dégagement d'électricité, la production de chaleur étant due à la recomposition des deux électricités par l'intermédiaire des liquides ambiants qui offrent plus ou moins de résistance à cette recomposition.

Voici comment j'ai opéré pour savoir s'il y avait dégagement ou non de chaleur dans les actions électro-capillaires.

Ayant montré précédemment que, lorsqu'on applique sur chacune des deux faces de la cloison capillaire en papier par-

cheminé une lame de platine percée de petites ouvertures non capillaires, les deux lames deviennent les deux surfaces polaires du couple électro-capillaire (les lames de platine ayant été remplacées par des lames d'or qui ne sont pas attaquées par la potasse, pareils effets ont été produits) : j'ai cherché quelle pouvait être la chaleur dégagée dans les actions électro-capillaires dont il est question. Pour y parvenir j'ai mis en communication la face supérieure de la bande de papier recouverte d'une lame d'or, avec un des éléments d'un couple thermométrique composé d'un fil de fer et d'un fil d'or soudé sur la lame d'un fil de même métal, de manière que le fil ne touche pas la dissolution d'alumine.

L'appareil a été disposé comme la figure ci-après :



B, bocal contenant une dissolution de nitrate de cuivre;
T, tube renfermant une dissolution d'aluminate de potasse

et fermé par en bas avec du papier parcheminé recouvert d'une lame d'or percée.

l, tube intérieur dans lequel passe un fil de fer *f*; ce fil est soudé par le bout *b* à un fil d'or, de telle sorte que la soudure soit incrustée au moyen du chalumeau dans le bout du tube, afin que le fer ne soit pas en contact avec le liquide extérieur.

L'autre extrémité *b'* du fil *f* est soudée à un autre fil d'or *o* qui traverse un second tube *t'*; la soudure est également incrustée à l'extrémité.

L'appareil qui vient d'être décrit est un thermomètre électrique, doué d'une assez grande sensibilité pour qu'une différence de température entre les deux soudures de $\frac{1}{10}$ de degré fasse dévier l'aiguille aimantée du galvanomètre d'un degré.

Avant d'opérer, les deux soudures sont maintenues dans l'air à une température constante, puis on descend le tube *l* dans la dissolution de nitrate de cuivre jusqu'à ce que le bout du tube touche la cloison : l'action électro-capillaire commence aussitôt après l'imbibition de la cloison, l'aiguille aimantée du galvanomètre conserve sa position d'équilibre, preuve qu'il n'y a pas eu un dégagement de chaleur appréciable, pendant les diverses réactions qui ont lieu ; on conçoit bien que s'il y avait eu de la chaleur dégagée au contact des deux dissolutions, la soudure se serait échauffée ; il y aurait eu alors une différence de température entre les soudures *b* et *b'*, par suite de laquelle l'aiguille aimantée aurait été déviée. Or comme elle est restée fixe, il faut en conclure que le dégagement de la chaleur a été insensible à l'appareil qui pouvait accuser une différence de $\frac{1}{10}$ de degré de tempé-

rature entre les deux soudures. On peut m'objecter que la réaction chimique étant faible, le dégagement de chaleur l'est également ; cela est vrai ; mais il est des cas où l'action est assez marquée pour que les effets de réduction apparaissent aussitôt ; je citerai notamment : le nitrate d'argent et le monosulfure de sodium, donnant lieu à une réduction immédiate d'argent.

Or il a été démontré que dans toute action chimique il y a production de chaleur et d'électricité, deux effets concomitants, ayant des rapports tellement intimes que l'une ou l'autre peut servir à mesurer l'énergie des affinités ; en outre comme la chaleur peut se transformer en électricité et, réciproquement, celle-ci en chaleur, l'une et l'autre étant aptes à faire naître les affinités, il pourrait se faire qu'il n'y eût pas de chaleur dégagée et que toute l'électricité dégagée dans la fêlure se transformât en force chimique, ce qui expliquerait comment il se fait que les actions électro-capillaires produisent des effets qui exigent un plus ou moins grand développement de forces chimiques ou physiques, quand on le compare aux moyens que les appareils électro-capillaires paraissent mettre en mouvement, pour arriver aux mêmes fins.

L'expérience suivante, par son importance, semble justifier cette conjecture : on prend un tube que l'on ferme par un bout avec un tampon de papier bien serré et traversé par un fil de platine dont les bouts partent du tube. On remplit en partie ce dernier d'une dissolution de monosulfure de sodium assez concentrée et on le plonge dans une éprouvette contenant une dissolution concentrée de nitrate de cuivre. On conçoit que le fil de platine remplace ici la fêlure du tube

formant le couple électro-capillaire; aussitôt que le contact est établi entre les liquides, la partie du fil de platine immergée dans la dissolution de nitrate se recouvre de cuivre comme la face de la fissure en contact avec la même dissolution dans le tube fêlé. Il circule donc continuellement un courant électrique entre les deux liquides et les portions immergées du fil de platine. Les deux bouts libres de ce fil ont été mis ensuite en communication avec un galvanomètre d'une grande sensiblilité, dans l'espoir d'avoir un courant dérivé; or il n'en a pas été ainsi; l'aiguille aimantée n'a éprouvé aucune déviation; ne peut-on pas en conclure, comme on l'a fait précédemment pour l'absence de chaleur, que toute l'électricité a été transformée en force chimique.

L'expérience que je viens de rapporter met en évidence la puissance d'un couple formé de deux liquides séparés par un diaphragme capillaire et traversé par un fil de platine ou d'un métal non oxydable puisque toute l'électricité résultant de la réaction de deux liquides l'un par l'autre est transformée en action chimique; mais il n'en est plus de même quand les deux bouts du fil plongent chacun dans l'un des deux liquides; dans ce cas on a un courant électrique et, par suite, perte de force vive; aussi les électro-chimiques ne sont-ils plus aussi marqués par suite de la résistance qu'éprouve l'électricité dans les changements de conducteur. Ces effets tiennent à ce que le courant électrique est forcé de traverser non-seulement la cloison, mais encore une partie des deux liquides pour passer d'un bout du fil à l'autre, tandis que, dans la première disposition, les deux électricités entrent dans le fil métallique, aussitôt qu'ils sont séparés. La fissure

dans les tubes fêlés remplace le fil de platine. Voilà la cause de la grande énergie des couples électro-capillaires.

§ III. *Des amalgames.*

Les amalgames d'or, d'argent de cuivre, de plomb, etc., s'obtiennent facilement cristallisés dans les appareils électro-capillaires à tubes fêlés, avec des mélanges d'une dissolution de bi-chlorure ou de nitrate de mercure et de dissolutions métalliques. Ces mélanges sont introduits dans les tubes fêlés, qu'on plonge dans une dissolution de monosulfure de sodium ou de sulfo-carbonate de potasse marquant à l'aréomètre environ 10° au moins ; mais on peut en employer au-dessous de ce degré.

Il est très-difficile, pour ne pas dire plus, de déterminer *à priori* les proportions des dissolutions qui composent le mélange devant donner un amalgame en proportions définies, attendu qu'on ne connaît pas encore les rapports existant entre les diverses forces agissantes et les proportions des sels pour y parvenir.

Je rappellerai à ce sujet les résultats des expériences déjà anciennes que j'ai faites pour déterminer l'influence des masses, dans les décompositions électro-chimiques, des mélanges de dissolutions métalliques. (*Traité d'électro-chimie*, 2e édition, page 235.)

Quand on soumet à l'action d'un courant de force constante provenant d'une pile composée d'un petit nombre de couples à sulfate de cuivre une dissolution d'une proportion atomique de nitrate d'argent, dans 100 parties d'eau distillée

et qu'on ajoute successivement 2, 4, 8, 16, 32, 64 proportions de nitrate de cuivre, ce dernier ne commence à être décomposé que lorsqu'il y a dans la dissolution un peu plus de 60 proportions atomiques de nitrate de cuivre pour une de nitrate d'argent. En continuant à augmenter la proportion de nitrate de cuivre, on finit par arriver à obtenir des quantités proportionnelles égales de cuivre et d'argent.

Ce courant a donc dû se partager en deux parties parfaitement égales, car les équivalents des corps étant associés à des quantités égales d'électricité, d'après la loi de Faraday, ne peuvent être séparés que par des courants égaux en intensité.

On tire de là la conséquence que la force qui unit l'oxygène et l'acide nitrique à un équivalent d'argent dans le nitrate de ce métal est la même que celle qui unit l'oxygène et l'acide nitrique à un équivalent de cuivre, quand il y a dans la dissolution 67 équivalents de nitrate de cuivre pour une d'argent. Ce partage égal de l'électricité varie probablement avec l'intensité du courant et le degré de concentration de la dissolution ; aucune expérience n'a encore été faite à ce sujet. On voit par là la difficulté que l'on doit éprouver à indiquer les proportions des parties constituantes pour avoir un alliage ou un amalgame dans des proportions déterminées.

Voyons quels sont les effets obtenus dans les appareils électro-capillaires disposés pour la formation des amalgames.

En opérant avec le nitrate de mercure seul dans un tube fêlé plongeant dans une dissolution de monosulfure de sodium, le mercure est réduit et se dépose d'abord dans la fissure ; en remplaçant le nitrate par du proto-chlorure et de l'eau salée au maximum de saturation , le proto-chlorure se

réduit peu à peu en masse, avec un mélange à parties égales d'une dissolution de bi-chlorure de mercure et d'une dissolution de nitrate de cuivre ayant une force électro-motrice également à 57,6. Il se produit d'abord dans la fissure un dépôt blanc, puis des dépôts qui prennent un aspect de plus en plus cuivreux. On a ainsi des amalgames formés de diverses proportions d'argent et de cuivre. En opérant avec une dissolution à parties égales de nitrate d'argent et de nitrate de mercure ayant une force électro-motrice égale à 62,3, on a un amalgame blanc; avec le chlorure d'or et le bi-chlorure de mercure ayant une force électro-motrice égale à 83,6, les amalgames d'or formés prennent un aspect de plus en plus terne.

L'amalgame d'argent étant blanc, il est difficile d'apercevoir les teintes provenant des diverses amalgames quand on varie les proportions des fils.

§ IV. *Des actions électro-capillaires produites en substituant la dissolution de sulfo-carbonate de potasse à celle de monosulfure de sodium.*

On a vu dans les tableaux des forces électro-motrices que la dissolution du sulfo-carbonate de potasse se comportait à l'égard des liquides les plus oxydants comme la dissolution de monosulfure à l'égard de l'acide nitrique et des dissolutions métalliques : on devait en conclure de même que, avec des tubes fêlés, des lames de verre appliquées avec pression sur une bande de papier à filtrer imbibée de l'une de ces dissolutions, on devait obtenir les mêmes résultats qu'en

employant le monosulfure de sodium, quand on les plonge dans une dissolution sulfo-carbonate de potasse. J'ajouterai cependant que les réductions métalliques paraissent s'effectuer plus facilement avec l'appareil à lames de verre qu'en employant les tubes fêlés ; on obtient assez promptement, non-seulement la réduction des métaux qui présentent moins de difficulté, mais encore celle de la plupart des autres métaux, tels que le cobalt, le nickel, le plomb, l'étain, le platine, que l'on n'avait pu produire encore.

Je ne chercherai pas à expliquer pour quel motif la dissolution de sulfo-carbonate de potasse paraît avoir un avantage sur celle de monosulfure de sodium dans cette circonstance, attendu que les raisons manquent pour en indiquer la cause.

L'interposition d'une bande de papier entre deux lames de verre pressées l'une contre l'autre, présente sans aucun doute un grand avantage, car, d'une part, les espaces capillaires sont extrêmement serrés, de l'autre, le papier s'imbibant très-difficilement de chacun des deux liquides, il en résulte des actions électro-capillaires d'une grande lenteur et qui sont produites par conséquent dans des circonstances favorables; mais aussi le sulfo-carbonate finit par sulfurer le métal réduit; aussitôt que l'on s'en aperçoit il faut arrêter l'opération, séparer les lames, enlever le papier sur lequel est fixé le métal, le laver à grande eau, puis avec de l'eau acidulée, après quoi on le passe entre deux feuilles de papier non collé pour enlever autant que possible le sulfo-carbonate restant, et ensuite on place la bande de papier recouverte de métal en dendrites entre deux lames de verre dont on mastique les bords, afin d'assurer la conservation du métal, surtout s'il est oxydable.

Le sulfo-carbonate de potasse séparé du nitrate d'argent par une bande de papier parcheminé, produit des effets remarquables que ne m'a pas représenté le monosulfure : sur la face négative de la cloison on a de l'argent métallique et sur la face positive des cristaux de persulfure d'argent.

Avec le nitrate de plomb et le sulfo-carbonate de plomb, le plomb est réduit facilement sur la face négative et l'on aperçoit rarement du sulfure de plomb sur l'autre face ; cela tient probablement à la grandeur des pores de la cloison, qui permet dans certaines circonstances de très-légères filtrations produisant un sulfure ou un sulfo-carbonate de plomb.

CHAPITRE III.

DES COURANTS-ÉLECTRO-CAPILLAIRES DANS LES CORPS ORGANISÉS VIVANTS ET DE LEUR INTERVENTION COMME FORCE CHIMIQUE DANS LES FONCTIONS ORGANIQUES.

Depuis longtemps on se préoccupe du rôle que peut jouer l'électricité dans les phénomènes de la vie, principalement dans les fonctions nutritives des organes. L'expérience remarquable de Galvani et de son neveu Aldini, à l'aide de laquelle ils ont montré que, dans une grenouille convenablement préparée, l'animal se contracte en mettant en contact le muscle de la jambe avec le nerf lombaire; la propriété que possèdent les muscles et les nerfs d'être des électro-moteurs, celle des poissons électriques de lancer à volonté des décharges; le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques quelle que soit leur origine, tous ces phénomènes dus à un agent, véritable protée, qui se transforme tantôt en chaleur, tantôt en lumière, en forces chimique et physiologique, devait faire voir qu'il intervient dans les élaborations si nombreuses qui entretiennent la vie dans les corps organisés. Aussitôt que j'eus trouvé les propriétés que possèdent les

courants électro-capillaires de produire des actions chimiques ainsi que des effets de transport. J'avançai que ces courants existent également dans les animaux et les végétaux composés de tissus, de membranes séparant des liquides n'ayant pas la même composition, condition indispensable pour leur production. Le nombre de ces couples est pour ainsi dire infini, car le tissu le plus élémentaire suffit pour produire un courant s'il se trouve placé entre deux liquides différents. Les détails dans lesquels je vais entrer ne laisseront, je crois, aucun doute à cet égard dans les esprits.

§ Ier. *Exposé de nos connaissances sur le mouvement circulatoire du sang.*

Avant d'exposer le mode d'intervention des actions électro-capillaires dans la transformation du sang artériel en sang veineux, il est nécessaire d'exposer rapidement l'état de nos connaissances sur ce phénomène fondamental de la vie animale.

Voici les principales données que nous possédons à cet égard.

1° Le sang artériel est rouge vermeil et le sang veineux brun.

2° L'un et l'autre contiennent de l'oxygène, de l'azote et du gaz carbonique qui s'y trouvent en partie à l'état de dissolution et en partie à l'état de combinaison instable, mais il y a plus d'oxygène dans le sang artériel que dans le sang veineux, et plus de gaz d'acide carbonique dans celui-ci que dans l'autre.

3° La plupart des physiologistes admettent que l'oxygène du sang se trouve dans les globules qui sont chargés de le transporter dans les différents tissus, ou bien qu'il est fixé sur leur surface, ou dans leur intérieur par affinité capillaire, ce qui ne l'empêche pas de réagir sur les matières combustibles du sang ou des tissus pendant sa circulation. La force qui retient l'oxygène sur ou dans les globules est assez faible puisque ce gaz se dégage lorsqu'on élève dans le vide la température du sang jusqu'à 40°. Je reviendrai sur cette question avec plus de détails dans un autre mémoire.

Ce gaz provient de l'air, tandis que le gaz acide carbonique est un dernier produit des transformations nutritives. Ce gaz est éliminé avec la vapeur d'eau et l'azote libre dans l'acte de la respiration. L'azote paraît être simplement dissous dans le sang. Voici les quantités relatives des trois gaz trouvées dans le sang.

Tableau 7.

	ACIDE CARBONIQUE		OXYGÈNE.	AZOTE.
	DISSOUS.	COMBINÉ.		
Sang artériel.	374,6	13 cc.	203	16
Sang veineux.	415,5	34,06	135	15

On voit par ces résultats que le sang artériel est beaucoup plus oxygéné que le sang veineux, dans la proportion de 203 à 135.

Les physiologistes pensent que la coloration différente du sang artériel et celle du sang veineux dépendent des proportions relatives des quantités de gaz qu'ils renferment. Quant aux

autres principes constituants du sang, nous les rappellerons en peu de mots : le sang veineux contient moins de fibrine que le sang artériel ; suivant J. Muller, sa proportion serait de 34 à 29.

Le sang artériel renferme un peu plus de globules que le sang veineux.

L'albumine, qui est un des principes essentiels du sérum, se trouve à peu près en même proportion dans les deux sangs, cependant on admet un peu moins d'albumine dans le sang artériel que dans le sang veineux.

L'eau est en général en plus grande quantité dans le sang veineux que dans l'autre.

. Le sang artériel est plus riche en sels inorganiques que le sang veineux.

Les matières extractives sont notablement plus abondantes dans le sang veineux que dans le sang artériel.

Mais ce qu'il importe au physicien de connaître pour concevoir le mode d'intervention des actions électro-capillaires dans la transformation du sang artériel en sang veineux, c'est le mode de circulation des deux sangs et leur mélange réciproque.

Les artères portent le sang depuis le cœur jusqu'aux points les plus périphériques de l'organisme au moyen des capillaires ; ils ne remplissent pas seulement les fonctions de vaisseaux conducteurs ; mais, en vertu de leurs propriétés physiques et organiques, d'après l'opinion des physiologistes, ils transforment l'afflux intermittent du sang qu'ils recouvrent en un mouvement qui est continu lorsqu'ils cèdent ce liquide aux vaisseaux capillaires; ils règlent en outre leur calibre au moyen de la contraction de leurs parois pour

porter à chaque organe une quantité de sang variant suivant ses besoins.

Les caractères de la plupart des phénomènes relatifs à la circulation artérielle montrent que ces phénomènes sont sous la dépendance de la force du cœur.

On conçoit comme il suit le cours du sang dans le système capillaire.

Le sang artériel traverse pour passer dans les veines, des vaisseaux très-ténus, appelés capillaires, et par l'intermédiaire desquels il entre en contact avec les tissus organiques, en concourant ainsi à leur nutrition et à leur accroissement, tout en se chargeant lui-même d'autres substances que ces tissus lui abandonnent; le sang éprouve donc alors de profondes modifications; après avoir traversé le système capillaire, il devient alors du sang veineux.

Le système capillaire se trouvant entre les dernières ramifications des artères et les premières radicules des veines, se fond dans ces deux ordres de vaisseaux, *de sorte qu'il est fort difficile de déterminer le point précis où les vaisseaux* ne sont plus seulement des organes de transport du sang mais permettent à travers leurs parois un mélange entre le sang et les tissus.

Le passage du sang des artères dans les veines étant bien constaté, on a fait différentes hypothèses sur la nature des voies de communication qui relient entre eux les deux systèmes de vaisseaux. La plupart des physiologistes pensent que le sang s'infiltre dans les mailles des tissus, après avoir cessé d'être contenu par des parois nombreuses. On a démontré à l'aide du microscope et de diverses expériences *la continuité vasculaire existant entre les artères et les veines.*

C'est là ce qu'il importe de faire remarquer pour concevoir le mode d'intervention des actions électro-capillaires dans l'hématose.

Les anastomoses plus ou moins larges entre les systèmes artériels et veineux jouent un grand rôle dans la question qui nous occupe.

Les communications entre les artères et les veines sont plus ou moins directes ; dans certains cas elles peuvent s'établir par des capillaires d'un fort volume, d'autres fois on n'aperçoit que des artéroïdes visibles à la vue simple, se recourbant en anse et se continuant en vésicule. Les anastomoses plus ou moins larges dans la circulation capillaire produisent de nombreuses variations dans le mouvement.

Entrons maintenant dans quelques détails sur le mode de circulation du sang artériel et du sang veineux ainsi que sur les phénomènes qui l'accompagnent.

Le système capillaire se trouvant entre les dernières ramifications des artères et les premières radicules des veines, se fond dans ces deux ordres de vaisseaux, de sorte qu'il est fort difficile de déterminer le point précis où les vaisseaux cessent de contenir du sang artériel et ne renferment que du sang veineux.

Le sang artériel après avoir subi dans les capillaires généraux et dans les capillaires pulmonaires les changements qui résultent de l'hématose revient de nouveau au cœur au moyen du système veineux chargé de cette fonction.

Avant de montrer comment peuvent intervenir les actions électro-capillaires dans cette transformation et dans les phénomènes de la nutrition ; il faut faire connaître les effets électriques produits, lors du contact direct du sang ar-

tériel et du sang veineux, bien qu'ils ne communiquent ensemble que par l'intermédiaire des capillaires, ainsi que celui du sang avec les sérosités en dehors des capillaires.

M. Scoutetten a cherché les effets électriques produits au contact du sang artériel et du sang veineux, soit sur l'animal vivant, soit sur le sang qui en est extrait. Il a trouvé, comme on devait s'y attendre, que le premier qui est plus oxygéné que le second, est positif par rapport à l'autre.

M. Scoutetten a mesuré aussi la force électro-motrice en vertu de laquelle le dégagement d'électricité a lieu ; mais la méthode dont il a fait usage ne pouvait le conduire à une valeur exacte. Il s'est servi avec raison pour recueillir les deux électricités dégagées d'électrodes en zinc amalgamé, plongeant chacune dans un vase poreux, contenant une dissolution neutre et saturée de sulfate de zinc et mise en rapport d'une part avec l'un des deux sangs, de l'autre avec un galvanomètre; les deux diaphragmes étaient séparés par un diaphragme poreux. Il a pris pour l'intensité du courant et par conséquent, pour mesure de la force électro-motrice la tangente de la déviation ; or, il ne peut en être ainsi qu'autant que les déviations ne dépassent pas 30°, si ce n'est lorsqu'on fait usage d'une boussole des tangentes, instrument qui n'a pas toutefois assez de sensibilité pour des recherches de ce genre.

L'emploi des lames de zinc plongeant dans des dissolutions de sulfate de zinc neutre et saturées, pour électrodes, n'est pas sans quelque inconvénient, car les deux sangs n'étant pas identiques, il en résulte dans leur contact avec la dissolution métallique deux courants dirigés en sens contraire, et par suite une différence qui diminue l'intensité du courant prin-

cipal, mais cette différence cependant doit être très-faible, attendu que, les deux espèces de sang différant peu dans leur composition, on peut jusqu'à un certain point la négliger.

Néanmoins il serait convenable d'en déterminer la valeur. Le seul moyen d'éviter cette erreur est d'employer, comme on le fait quelquefois, de grandes lames de platine, quand on dispose d'une quantité de sang suffisante pour les y plonger entièrement; l'étendue de ces lames permet de négliger la polarisation qui est alors très-faible.

M. Scoutetten a fait usage en outre d'un courant constant possédant un pouvoir électro-moteur très-faible et dont on connaissait le rapport avec un type connu, tel que le couple à sulfate de cuivre. Ce couple était formé d'une lame d'étain plongeant dans une dissolution de proto-chlorure de ce métal et de sel marin et d'une lame de plomb plongeant dans une dissolution de chlorure de plomb étendue d'eau. Il a commencé par déterminer la force électro-motrice de ce couple qu'il a trouvée égale à 4,50, celle du couple à sulfate de cuivre et à zinc amalgamé étant 58, et le rapport de celle-ci au couple à acide nitrique étant 100; il a introduit dans le circuit le couple à sang veineux et à sang artériel en l'opposant au premier afin d'avoir la différence entre les deux courants. Trois expériences lui ont donné en moyenne pour la tangente de la déviation de l'aiguille avec le couple de sang artériel et

de sang veineux. 2,1839
Et pour la tangente négative. 1,5251

En désignant par x la force électro-motrice du premier couple, qui est égale à 2,1839, et celle du second par y, on a :

$$y - x = 1,5251,$$

d'où l'on tire:

$$y = x + 1,5251$$

d'où

$$\frac{x}{y} = \frac{2,1839}{3,7090} = 0,58.$$

Si l'on multiplie 0,58 par 4,50 pour rapporter la force électro-motrice à celle du couple à sulfate de cuivre étant 58,20, on a 2,61 au lieu de 1,82 trouvé par M. Scoutetten pour forces électro-motrices des deux sangs, celle du couple à acide nitrique étant 100; mais ce nombre ne représente pas la force électro-motrice : en effet, M. Scoutetten a obtenu avec le galvanomètre à 10,000 tours des déviations de 67°, 65°, 64°, 59°, 55°, 56°, dont il a pris les tangentes pour représenter les intensités des courants; mais les tangentes ne représentant, comme on l'a dit précédemment, les intensités des courants que pour des déviations qui ne dépassent pas 30°, au delà, la loi ne s'applique plus, à moins d'employer la boussole dite des tangentes, qui ne peut pas être employée à mesurer de très-faibles courants. Il faut alors avoir recours à une autre méthode que je vais décrire. Voici d'abord la table de comparaison dont on va donner la description.

Tableau 8.

GRAND GALVANOMÈTRE		GALVANOMÈTRE GOURGEON à fil long.		GRAND GALVANOMÈTRE		GALVANOMÈTRE GOURGEON à fil long.		GRAND GALVANOMÈTRE		GALVANOMÈTRE GOURGEON à fil long.	
1	0,0018			34	0,0637			66	0,2273	13	0,2309
2	0,0037			35	0,0659			67	0,2421		
3	0,0955			36	0,0681	4	0,0699	68	0,2508	14	0,2493
4	0,0074			37	0,0703			69	0,2716	15	0,2649
5	0,0092			38	0,0725			70	0,2864	16	0,2864
6	0,0110			39	0,0749			71	0,3057	17	0,3057
7	0,0129			40	0,0762			72	0,3249	18	0,3249
8	0,0147			41	0,0775			73	0,3512	19	0,3453
9	0,0165			42	0,0787	4,5	0,0787			20	0,3640
10	0,0184	1	0,0174	43	0,0799			74	0,3776	21	9,3839
11	0,0202			44	0,0814			75	0,4040	22	0,4040
12	0,0221			45	0,0820			76	0,4463	23	0,4275
13	0,0239			46	0,0843					24	0,4510
14	0,0257			47	0,0857			77	0,4887	25	0,4745
15	0,0276			48	0,0874	5	0,0874			26	0,4981
16	0,0294			49	0,0924			78	0,5310	27	0,5216
17	0,0313			50	0,0975			79	0,5734	28	0,5451
18	0,0331			51	0,1025					29	0,5686
19	0,0349	2	0,0349	52	0,1076	6	0,1051	80	0,6157	30	0,5922
20	0,0368			53	0,1126					31	0,6157
21	0,0386			54	0,1176					32	0,6541
22	0,0405			55	0,1228	7	0,1228			33	0,6925
23	0,0423			56	0,1278			81	0,0741	34	0,7309
24	0,0442			57	0,1328					35	0,7693
25	0,0460			58	0,1379			82	0,7924	36	0,8077
26	0,0478			59	0,1428	8	0,1405			37	0,8461
27	0,0497			60	0,1480			83	0,8807	38	0,8845
28	8,0515	3	0,0524	61	0,1531	9	0,1583			39	0,9229
29	6,0534			62	0,1583	10	0,1764	84	0,9690	40	0,9613
30	0,0552			63	0,1764	11	0,1944			41	0,9997
31	0,0571			64	0,1943	12	0,2125			42	1,0381
32	0,0593			65	0,2125	12	0,2125	85	1,0573	42,5	1,0573
33	0,0615										

On a commencé par former deux tables d'intensité avec un galvanomètre à 30,000 tours et un autre à 6,000 tours faisant partie d'un même circuit dans lequel se trouvaient

un couple à courant constant d'une très-faible intensité et trois bobines de résistance formées d'un fil de cuivre de $\frac{1}{5}$ de millimètre de diamètre recouvert de soie et de 7 à 8,000 mètres de longueur. On a fait varier l'intensité du couple, de telle sorte que la déviation de l'aiguille aimantée dans le galvanomètre le moins sensible ne dépassa pas 30°, tandis que dans l'autre galvanomètre les déviateurs allaient jusqu'à 35°, 40°, 50°, etc. Comme jusqu'à 30° les intensités du courant sont proportionnées aux tangentes de déviation et que, lorsque la résistance du courant est considérable, les intensités du courant peuvent être prises pour les forces électromotrices, il en résulte que les déviations du galvanomètre le moins sensible donnent des points de repère pour calculer les intensités du courant correspondantes à des déviations de l'autre galvanomètre, lesquelles intensités représentent les forces électro-motrices. On a fait les mêmes opérations avec le galvanomètre le moins sensible, avec un autre qui l'est moins encore, de sorte que l'on a des tables qui servent à comparer ensemble les courants les plus forts et les plus faibles.

Quand il s'agit de comparer les forces électro-motrices obtenues avec le grand galvanomètre à la force électromotrice du couple à acide nitrique, on opère comme il suit : on fait passer dans le système un courant thermo-électrique dont l'une des soudures est à zéro et l'autre à 100°; supposons que la déviation dans le grand soit de 62° correspondant à une force égale à 0,158 ; que le courant qu'on veut lui comparer produise une déviation égale à 72° correspondant à une force égale à 0,325. Or, comme le couple thermo-électrique a une force électro-motrice égale à 0,28 quand celle

du couple à acide nitrique est égale à 100 ; il s'ensuit qu'on aura pour la force électro-motrice cherchée, comparée à celle du couple nitrique qui est 100

$$0,28 \frac{325}{158} = 0,577.$$

Au moyen de cette méthode rien n'est plus simple que de rapporter une force électro-motrice quelconque à la force électro-motrice d'un couple à acide nitrique.

Aidé de M. le docteur Moreau connu de l'Académie par d'intéressantes recherches physiologiques, j'ai trouvé que la force électro-motrice du sang artériel et du sang veineux était égal à 0,57, celle d'un couple à acide nitrique étant 100, tandis que M. Scoutetten avait obtenu 1,82, par une méthode qui laisse à désirer.

On a extrait du sang de l'artère fémorale d'un chien et de la veine adjacente, le premier a été mis dans un vase de verre, le second dans un diaphragme poreux, et dans chacun des deux sangs un vase poreux contenant une dissolution neutre et saturée de sulfate de zinc avec une lame de zinc amalgamé ; au moyen de cette disposition les deux sangs étaient en contact par l'intermédiaire d'un vase poreux.

Plusieurs expériences m'ont donné, au galvanomètre à 30,000 tours, une déviation de 72 degrés et une intensité égale à 0,325 ; le courant étant thermo-électrique a donné une déviation égale à 62° correspondant à une force électro-motrice égale à 0,158 ; c'est précisément l'exemple que je viens de citer ; on en déduit pour la force électro-motrice du sang artériel et du sang veineux une valeur de 0,577, la force électro-motrice du couple à acide nitrique étant 100.

Il a été impossible de déterminer avec une certaine exactitude la force électro-motrice du sang artériel et du sang veineux sur le vivant, attendu, d'une part, que les tissus qui séparent les deux sangs présentent une résistance très-variable ; de l'autre, parce que les aiguilles de platine dont on fait usage se polarisent tellement vite que l'on ne peut avoir une déviation constante, même dans un instant très-court il doit avoir la valeur égale si elle n'est pas supérieure à celle donnée au contact des deux sangs.

Je crois donc avoir démontré l'existence d'une multitude de courants électro-capillaires dans les capillaires parcourus par le sang artériel et le sang veineux et le mode d'action de ces courants pour opérer l'hématose et par suite la nutrition des tissus, les parois intérieures des capillaires étant les pôles négatifs des couples, et les parois extérieures, les pôles positifs. Il s'ensuit que l'oxygène du sang artériel qui est retenu par affinité capillaire à la surface ou dans l'intérieur des globules du sang, ainsi que les matières électro-négatives se portent sur la paroi extérieure qui est le pôle positif du couple, tandis que les globules qui sont électro-positifs se portent sur la paroi intérieure; l'oxygène réagit sur le carbone et les matières combustibles des tissus. Le courant dirigé du pôle positif au pôle négatif, agissant comme force mécanique, transporte les liquides qui n'ont pas servi à la nutrition au travers de la paroi, dans les capillaires avec le gaz acide carbonique résultant de la combustion du carbone.

Je reviendrai dans un autre mémoire avec de plus grands développements sur cette théorie de la nutrition en m'appuyant sur des expériences qui ne laisseront rien à désirer.

La constitution des animaux ainsi que celle des végétaux est éminemment favorable à la production des courants électro-capillaires, aussi ces derniers doivent-ils jouer un rôle important dans les fonctions organiques.

M. le docteur Donné, dans un mémoire présenté à l'Académie, le 27 janvier 1864, exposa les résultats qu'il avait obtenus en cherchant l'état électrique de deux liquides différents séparés par des membranes, dans l'homme et les animaux, à l'aide de deux lames de platine et du galvanomètre. Son but était de montrer quels sont les caractères acide et alcalin relatifs à chacun des deux liquides, de telle sorte que le liquide le plus acide était positif par rapport à celui qui l'était moins, de même que le liquide le plus alcalin était négatif par rapport à celui qui l'est moins. Voici quelques-uns de ces résultats :

1° L'enveloppe extérieure du corps, la peau, sécrète sur toute sa surface une humeur acide ; cependant, la sueur, au lieu d'être acide, comme on le dit dans les traités de physiologie, sous les aisselles, est, au contraire, alcaline en ces points.

2° Le tube digestif depuis la bouche jusqu'à l'anus, sécrète un acide alcalin, si ce n'est dans l'estomac où le suc gastrique est fortement acide.

3° Les membranes séreuses et les membranes synoviales sécrètent toutes une liqueur alcaline dans l'état normal. Cette sécrétion devient quelquefois acide dans certaines maladies.

4° La membrane acide externe et la membrane alcaline interne du corps humain représentent les deux pôles dont les effets électriques sont appréciables au galvanomètre avec deux lames de platine.

Ces effets ne sont pas des courants électro-capillaires, ce sont des courants produits dans un circuit fermé dont font partie deux liquides différents, réagissant l'un sur l'autre, par l'intermédiaire des membranes, et deux lames de platine.

Indépendamment de ces deux grandes surfaces offrant des états chimiques opposés, il existe, ajoute-t-il, dans l'économie d'autres organes que l'on peut appeler, les uns acides, les autres alcalins, et qui donnent lieu aux mêmes effets : en établissant une relation métallique avec des lames de platine entre l'estomac par exemple et le foie de tous les animaux, on a des courants électriques énergiques.

En ce qui concerne les êtres vivants, je me suis occupé particulièrement dans le mémoire de l'intervention des courants électro-capillaires dans la transformation du sang artériel en veineux, question fondamentale pour la physiologie, puisqu'elle se rattache à celle de la nutrition des tissus.

Le sang artériel traverse, pour passer dans les veines, des vaisseaux appelés capillaires, par l'intermédiaire desquels il entre en contact avec les tissus organiques et concourt ainsi à leur nutrition et à leur accroissement tout en se chargeant lui-même d'autres substances que ces tissus lui abandonnent; le sang éprouve donc alors de profondes modifications.

Après avoir traversé le système capillaire, il devient sang veineux.

Les physiologistes ne sont pas d'accord sur le mode d'absorption de l'oxygène par les tissus; les uns pensent que ce gaz est absorbé par une substance inconnue qui entre des tissus voisins dans les vaisseaux sanguins en formant du gaz acide carbonique, lequel est emporté par la circulation du sang.



D'autres physiologistes croient, et c'est le plus grand nombre, que l'oxygène sort du sang artériel par les parois des artères et les capillaires pour réagir sur les tissus en produisant du gaz acide carbonique qui rentre dans les capillaires avec d'autres produits. On peut expliquer dans l'une et l'autre hypothèse comment peuvent intervenir les actions électro-capillaires dans l'hématose et dans les phénomènes de nutrition.

L'expérience suivante servira à faire concevoir comment la transformation du sang artériel en sang veineux peut avoir une origine électro-capillaire.

Dans un tube capillaire de 1 à 2 décimètres de longueur, recourbé et évasé à ses deux extrémités, afin de pouvoir y introduire des liquides, on commence par le remplir d'eau ordinaire, puis on enlève celle qui se trouve dans les parties évasées, pour y mettre d'un côté une dissolution d'or ou d'un autre sel métallique facilement, de l'autre une dissolution de monosulfûre de sodium ou d'acide oxalique; le mélange de chacun de ces liquides avec l'eau adjacente s'effectue très-lentement, de sorte que le contact du chlorure et du monosulfure est très-retardé. Vient-on à plonger dans chaque dissolution une lame de platine parfaitement dépolarisée l'une et l'autre en communication avec le galvanomètre de 30,000 tours pour avoir la force électro-motrice des deux liquides quand le contact des deux dissolutions n'est pas encore établi, ou à une force électro-motrice considérable, même quand la colonne capillaire a 4 ou 5 décimètres de longueur.

J'ai tâché d'expliquer, comme il suit, la transformation de sang artériel en sang veineux, ainsi que les phénomènes

de nutrition qui s'y rapportent, en faisant intervenir l'action des courants électro-capillaires agissant comme forces chimiques et forces physiques et en m'appuyant sur les faits observés jusqu'ici et que j'ai rapportés précédemment sans chercher à discuter les hypothèses mises en avant par les physiologistes pour les interpréter.

L'expérience démontre qu'au contact du sang artériel et du sang veineux, il y a production d'électricité, il en est de même au contact du sang et des sérosités dont ils sont séparés par le tissu qui constitue les capillaires.

La face des capillaires en contact avec le sang artériel est le pôle négatif et celle opposée contiguë aux sérosités, le pôle positif d'un couple. Ce fait est prouvé par l'expérience.

De là résultent une foule de couples électro-capillaires produisant des actions électro-chimiques; mais les courants agissent en outre comme force mécanique pour transporter les liquides du pôle positif au pôle négatif, c'est-à-dire du liquide qui se comporte comme alcali à l'égard de celui qui agit comme acide, puisque le courant électrique va de l'un à l'autre; ce fait a été découvert par Porrette.

Comment l'oxygène qui se trouve dans le sang artériel peut-il traverser la paroi des capillaires comme beaucoup de physiologistes le pensent? L'oxygène est retenu à la surface ou dans l'intérieur des globules du sang par l'affinité capillaire; du moins c'est l'opinion générale; les courants électriques, suivant leur intensité, pouvant vaincre toutes les affinités, même l'affinité capillaire, il en résulte que l'oxygène, par l'effet du courant électro-capillaire agissant comme force chimique, est déposé sur la paroi positive, en dehors des capillaires, et les globules qui sont électro-positifs sur la

paroi négative dans l'intérieur ; l'oxygène peut réagir alors sur les matières combustibles des liquides ambiants, avec production de gaz acide carbonique qui rentre dans les capillaires par l'action du courant agissant comme force mécanique à l'égard des composés électro-positifs dissous ; l'acide carbonique dissous est entraîné par le sang dans son mouvement avec les autres composés formés.

Si ces liquides dont la nature n'est pas connue entrent, comme le pensent quelques physiologistes, dans les capillaires, pour s'emparer de l'oxygène, cet effet ne peut être produit que par la force qui transporte les liquides du pôle positif au pôle négatif; l'oxygène dans cette hypothèse brûle le carbone du sang artériel et autres matières combustibles qu'il contient, et les produits repassent au travers des parois capillaires pour servir à la nutrition des tissus en vertu de la dialyse : tels sont les effets résultant de l'action des courants électro-capillaires agissant comme forces chimiques et comme forces mécaniques et qui peuvent servir à expliquer l'hématose. D'après ce qui précède on conçoit que, lorsque la vie cesse dans un organe ou que cet organe se trouve dans un état morbide, les tissus se relâchent, les pores deviennent plus grands, l'action des forces électro-capillaires cesse peu à peu et finit par disparaître; la décomposition détruit alors tous les tissus.

La méthode que j'ai employée pour obtenir la force électro-motrice du sang artériel et du sang veineux est aussi exacte qu'elle peut l'être dans des expériences de ce genre.

CHAPITRE IV.

DES COURANTS ÉLECTRO-CAPILLAIRES DANS LES VÉGÉTAUX.

---

§ Ier. *Considérations générales sur les moyens employés pour déterminer ces courants.*

Nous allons retrouver dans les tissus végétaux des courants électro-capillaires analogues à ceux que l'on observe dans les animaux, attendu qu'ils sont composés, comme les derniers, de vaisseaux, de tissus cellulaires et de parties élémentaires appelées utricules, contenant des liquides différents séparés par des cloisons à pores capillaires qui constituent autant de couples électro-capillaires qu'il y a d'organes élémentaires, de même que dans les animaux.

Il est bien difficile, pour ne pas dire plus, d'isoler ces couples élémentaires pour en étudier les effets électro-chimiques; mais on peut en déterminer avec une certaine exactitude la résultante en employant les moyens dont je me suis servi pour observer le dégagement d'électricité dans les corps ornisés. Ces moyens consistent à introduire des aiguilles de platine plus ou moins fines dans deux parties intérieures plus ou moins rapprochées d'un fruit ou d'une tige et à les mettre en relation soit avec un condensateur pour avoir de l'élec-

tricité libre, soit avec un galvanomètre pour obtenir un courant qui mette en évidence l'état électrique de chacun des deux liquides qui n'ont pas la même composition.

Je rappellerai d'abord les résultats que j'ai obtenus dans mes anciennes expériences, lesquelles exigent de très-grandes précautions, si l'on veut se mettre à l'abri des causes d'erreur qui sont d'autant plus marquées que le galvanomètre a plus de sensibilité ; ces causes d'erreur tiennent principalement à la polarisation des aiguilles produisant un courant en sens inverse ; cette polarisation peut être attribuée:

1° Aux dépôts de produits gazeux et autres, formés sur les aiguilles de platine quand elles ont servi à transmettre des courants, même les plus faibles, au travers de liquides conducteurs ;

2° A leur séjour dans l'air, pendant quelques instants seulement, qui suffit pour qu'elles se recouvrent d'air ou de quelques-uns des corps étrangers qui s'y trouvent ;

3° Au mouvement de l'une des deux aiguilles dans le liquide qui produit un frottement donnant lieu à un courant électrique appréciable à un galvanomètre très-sensible ;

4° Au contact des aiguilles avec le doigt, ou des corps pouvant laisser par leur frottement des particules étrangères sur leur surface. On détruit cette polarisation en traitant les aiguilles avec l'acide nitrique bouillant, lavant dans de l'eau distillée et les faisant rougir ; avant de commencer l'expérience, on s'assure par une expérience préalable que la polarisation est entièrement détruite, en les plongeant à cet effet dans l'eau et les mettant en rapport avec un galvanomètre très-sensible. Ces opérations sont d'une nécessité indispensable si l'on veut obtenir des résultats sur l'exactitude desquels on puisse compter.

Quand le courant initial a une certaine intensité, la polarité produit immédiatement un courant dirigé en sens inverse, courant qui peut induire en erreur les expérimentateurs qui ne sont pas habitués à des recherches de ce genre.

Lorsqu'il est possible d'extraire deux liquides différents d'un végétal, on en met un dans un vase poreux et l'autre dans un vase de verre ou de porcelaine en plongeant dans chacun d'eux une grande lame de platine parfaitement dépolarisée afin d'affaiblir le plus possible la polarisation résultant du passage du courant, et l'on détermine ensuite la forme électro-motrice avec le galvanomètre de 30,000 comme il a été dit précédemment en introduisant dans le circuit une grande résistance.

Je rappellerai d'abord les résultats que j'ai obtenus anciennement sur les effets électriques produits dans les végétaux et les tubercules en faisant entrer dans un circuit métallique deux parties contiguës d'un de ces deux corps séparés par des tissus, mais en les accompagnant toutefois de nouveaux développements qui sont indispensables pour mettre en évidence l'intervention des courants électro-capillaires dans les fonctions organiques.

La tige d'une plante ligneuse dicotylédonée est formée de deux parties distinctes séparées par une substance liquide que des physiologistes considèrent comme le principal élément de l'organisation végétale. La partie extérieure est l'écorce, la partie intérieure, le bois proprement dit. L'écorce se compose indépendamment du parenchyme, de l'épiderme, de l'enveloppe tubéreuse, de vaisseaux lactifères et de fibres corticales.

Le bois est formé de rayons médullaires, de faisceaux li-

gneux et d'un tissu cellulaire appelé moelle. L'écorce renferme donc, comme le système ligneux, une partie cellulaire et une partie fibreuse; seulement ces parties sont placées inversement : le parenchyme, qui est analogue à la moelle, occupe le pourtour de l'écorce, tandis que la moelle se trouve au centre du système ligneux. Cette inversion correspond à des effets électriques inverses, comme on va le voir.

Chaque tige ou branche étant composée d'une série non interrompue de couches concentriques hétérogènes, leur contact successif doit donner lieu à des effets électriques résultant de l'hétérogénéité des liquides humectant chacune d'elles, effets qui sont rendus sensibles au moyen des aiguilles de platine, du condensateur et du galvanomètre. Je commencerai par les rapports électriques entre la terre et les végétaux.

Le liquide dont la terre est humectée pénètre dans les racines par leurs extrémités ou spongiales, en vertu d'effets d'endosmose, de capillarité ou autres actions, passe dans les cellules situées au-dessus, et arrive jusqu'à la tige où le mouvement ascensionnel continue; ce liquide dissout une portion des substances qui se trouvent sur son passage, acquiert ainsi successivement plus de densité, constitue alors ce qu'on appelle la séve, qui est définitivement élaborée dans les feuilles, organes de la respiration.

Le gaz acide carbonique, absorbé par les feuilles, est décomposé pendant le jour, sous l'influence solaire, le carbone est assimilé et l'oxygène exhalé; la couleur des feuilles et celle de la jeune écorce indiquent effectivement que des changements considérables se sont opérés dans la séve. La séve nouvellement élaborée redescend-elle à travers l'écorce, en

déposant sur son passage les matières destinées à la formation des tissus? Je l'ignore. Les expériences de M. Biot tendent à admettre ce mouvement circulatoire de la séve. Ce préambule était indispensable pour comprendre ce que j'ai à dire touchant les effets électriques produits au contact de deux liquides séparés par des tissus capillaires.

Supposons qu'on ait mis à découvert, avec un instrument tranchant, une coupe transversale d'une tige de jeune peuplier en pleine végétation, de manière à mettre en évidence les parties concentriques principales dont elle se compose. Si l'on introduit simultanément les extrémités de deux aiguilles en platine, non polarisées, et en communication avec un multiplicateur à très-long fil, l'une dans la moelle et l'autre dans l'une des enveloppes du ligneux, l'aiguille aimantée est déviée plus ou moins suivant la sensibilité de l'appareil, l'état séveux du végétal et la nature de l'enveloppe où la seconde aiguille a été placée. Le sens de la déviation, qui est invariable, indique que la moelle a fourni au courant l'électricité positive, et la couche ligneuse l'électricité négative.

Il y a donc un courant électro-capillaire de l'intérieur à l'extérieur de la coupe transversale, courant qui est en sens inverse de celui qui est donné par les aiguilles et dont l'intensité diminue assez rapidement à cause de la polarisation des aiguilles.

En retirant la première et la rapprochant de l'autre, on obtient encore un courant dirigé dans le même sens, mais dont l'intensité est moindre quoique les aiguilles soient plus rapprochées. On prouve par là que l'état positif des liquides du ligneux va en diminuant depuis la moelle jusqu'à l'écorce. Si l'on place maintenant cette même aiguille dans le cambium

et l'autre dans le parenchyme ou l'écorce, on trouve alors que le courant change de sens en même temps qu'il acquiert plus d'intensité.

Si l'on enlève un morceau d'écorce dont l'épiderme se détache facilement, et qu'on applique une lame de platine sur l'épiderme et l'autre au-dessous, l'une et l'autre en rapport avec un multiplicateur, les effets acquièrent une très-grande intensité, comme on en a la preuve en expérimentant avec l'écorce d'une jeune branche d'aune en pleine séve. On voit par là que l'écorce forme une série de couples électro-capillaires dont la surface extérieure est le pôle négatif, la surface intérieure le pôle positif; disposition inverse de celle que présente la partie ligneuse.

Dans toutes ces expériences, il faut intervertir l'emploi des aiguilles, c'est-à-dire mettre l'une à la place de l'autre et réciproquement; seul moyen d'avoir la certitude que les résultats sont exacts, quand la direction des courants ne change pas.

En résumé, on voit que depuis la moelle jusqu'au cambium les couches ligneuses sont de moins en moins positives relativement à la moelle; tandis que depuis le cambium jusqu'à l'épiderme, les couches corticales sont de plus en plus positives. Cette inversion dans les effets électriques s'accorde donc avec la position du tissu cellulaire dans l'écorce et dans le bois : dans l'écorce il est à l'extérieur, dans le bois à l'intérieur; l'état électrique de la moelle est donc essentiellement positif.

Dans les plantes herbacées et les plantes grasses telles que les cactus, les euphorbes, etc., etc., composées presque uniquement de parenchyme, il devient extrêmement difficile d'observer l'inversion dans les effets électriques précédem-

ment décrits, et qui sont si nets dans les tiges des plantes pourvues d'un système cortical. On voit par ces effets les conséquences que l'on peut tirer de cet état de choses pour montrer l'existence de courants électro-capillaires. On a cherché ensuite quels sont les effets produits dans l'évolution de la séve; on a expérimenté à cet effet dans une section longitudinale d'une tige d'un jeune peuplier pourvu de feuilles. Les deux aiguilles ont été introduites l'une au-dessus de l'autre, dans la partie verte du parenchyme de l'écorce, à une distance de plusieurs décimètres; il s'est produit aussitôt un courant électrique dont la direction indiquait que l'aiguille placée au-dessous de l'autre avait pris l'électricité négative et l'autre l'électricité positive. On voit par là que la séve parenchymeuse, en deux points, situés à plusieurs décimètres de distance, n'a pas la même composition; la partie supérieure est plus oxygénée que la partie inférieure. J'expose les faits sans chercher à les expliquer. On a obtenu un courant semblable en établissant une communication métallique entre le cambium et les feuilles : l'une des aiguilles a été placée entre l'écorce et le ligneux, l'autre dans une masse de feuilles superposées, faisant toujours partie du végétal, afin d'avoir un plus grand nombre de points de contact avec la seconde aiguille.

La terre étant en communication directe et permanente avec les végétaux, par l'intermédiaire des spongioles des racines, doit participer à leur état électrique, résultant des élaborations diverses qui ont lieu dans les tissus.

Voici comment on met ce fait en évidence avec les aiguilles et mieux encore, quand cela est possible, avec des lames de platine, afin d'avoir un plus grand nombre de points de

contact avec la terre et les tissus explorés, et atténuer les effets de la polarisation. Je me borne ici à constater les effets sans chercher à les mesurer.

Si l'on introduit l'une des aiguilles dans le parenchyme d'une tige ou d'une branche de végétal quelconque, et l'autre dans le sol à une distance plus ou moins grande des racines, plusieurs mètres, par exemple, pourvu qu'il soit légèrement humide, il se manifeste un courant dont l'action sur l'aiguille aimantée indique toujours que la terre possède un excès d'électricité positive, le parenchyme un excès d'électricité contraire. Quant à l'intensité du courant, elle dépend de l'humidité du sol, des substancs dissoutes dans l'eau aspirée par les racines et de l'état séveux du végétal. Il est bien difficile de déterminer la force électro-motrice qui produit le courant, à cause de la polarité des aiguilles; cependant on peut y parvenir jusqu'à un certain point comme on le verra plus loin, surtout en employant des lames.

On obtient peu ou point d'effet, comme on devait s'y attendre, lorsque l'une des aiguilles est dans le ligneux, près de la moelle, qui est la partie positive des tissus, et l'autre dans la terre, qui est également positive relativement aux racines et aux diverses parties des végétaux.

Au lieu d'introduire l'une des aiguilles dans le parenchyme, on peut la placer dans un certain nombre de feuilles superposées tenant encore aux branches; dans ce cas, le même effet est produit. Cela tient à ce que la séve qui se trouve dans le parenchyme des feuilles a sensiblement la même composition que celle qui se trouve dans la partie parenchymeuse de l'écorce.

Les végétaux, quels qu'ils soient, même ceux qui ont une

tige purement herbacée comme la balsamine, le dahlia, etc., donnent les mêmes effets. On peut dès lors poser en principe que dans l'acte de la végétation, lorsque la germination est accomplie, la séve qui communique avec le sol par l'intermédiaire des racines, lui transmet continuellement un excès d'électricité positive, tandis qu'elle prend un excès d'électricité contraire.

Les effets électriques dont on vient de parler, permettent de concevoir, comme dans les animaux, les effets chimiques qui ont lieu en vertu d'actions électro-capillaires sur chacune des faces des tissus qui séparent deux liquides n'ayant pas exactement la même composition.

On a vu précédemment que dans la tige d'un végétal monocotylédoné le tissu cellulaire qui forme la moelle centrale est positive par rapport aux couches concentriques qui l'entourent et que les couches le sont d'autant moins que l'on approche davantage de l'écorce, d'où il suit que la face de la moelle en contact avec la première couche ligneuse est le pôle négatif, et la force opposée à cette dernière est le pôle positif; il y a donc un courant électro-capillaire allant de la première couche ligneuse à la moelle, un autre de la seconde couche à la première jusqu'au cambium; à partir de l'écorce, les courants suivent une direction contraire, comme on l'a vu précédemment, jusqu'à l'épiderme.

J'ai opéré sur des couches distinctes à la vue, mais les effets doivent être les mêmes sur celles qui ne le sont pas. La formation des couches ligneuses n'étant pas interrompue, les courants électro-capillaires ne le sont pas non plus, ainsi que les actions chimiques qui en sont la conséquence. L'existence de ces courants est liée intimement à celle des nou-

veaux composés qui se forment sans cesse dans les organes des végétaux. Il n'est pas possible, à la vérité, de saisir les courants auxquels les tissus qui sont en voie de formation donnent naissance, mais on conçoit néanmoins, d'après ce qui précède, qu'ils existent et qu'ils concourent puissamment aux élaborations diverses qui ont lieu dans les organes des végétaux. Je me borne aujourd'hui à en démontrer l'existence; mes recherches ultérieures auront pour but d'en faire connaître les conséquences que l'on peut en tirer.

Les tubercules et les racines donnent les mêmes effets électriques que les tiges et les branches des arbres. Je prendrai d'abord la pomme de terre, qui se compose d'un tissu cellulaire, dans les interstices duquel se trouve de la fécule, le tout pénétré d'un liquide qui rend ce tubercule plus ou moins aqueux. On démontre au moyen des effets électriques observés avec deux fils de platine introduits dans deux parties différentes, que ce liquide n'a pas la même composition depuis l'épiderme jusqu'au centre.

Dans l'impossibilité où l'on est d'isoler les diverses parties organiques dont se compose ce tubercule, afin d'observer leur état électrique relatif, on est dans la nécessité d'opérer comme on l'a fait à l'égard des branches des arbres.

Supposons qu'on ait fait une section dans une pomme de terre, afin de se procurer une tranche plane, si l'on introduit l'une des aiguilles dépolarisées sous l'épiderme et l'autre au centre de la tranche, il se manifeste aussitôt un courant dont la direction indique que l'aiguille placée sous l'épiderme a pris un excès d'électricité positive, et l'autre, celle qui est au centre, l'électricité négative. En retirant la première et la rapprochant de l'autre, elle reste toujours

positive à l'égard de celle-ci; il est encore de même en opérant inversement, c'est-à-dire en rapprochant l'aiguille de celle qui se trouve sous l'épiderme; voilà une différence bien marquée avec les effets électriques que présente une tranche transversale d'une branche d'arbre. Je répète qu'il faut toujours intervertir les aiguilles dans chaque expérience, si l'on veut avoir une valeur assez approchée de la force électro-motrice ou du moins la résultante des forces électromotrices des diverses parties des feuilles de pomme de terre et de la pomme de terre elle-même : on broie ces premières, on en exprime le jus, on en fait autant du tubercule en y ajoutant un peu d'eau et l'on opère comme on a fait à l'égard des deux espèces; on trouve alors que le jus des feuilles est éminemment positif relativement à l'autre, et que la force électro-motrice est égale à 1,271, celle du couple à acide nitrique étant 100.

D'autres tubercules se comportent de même; ces effets montrent que la pomme de terre et la plupart des autres tubercules se comportent comme le système cortical de cette dernière, c'est-à-dire que la partie sous l'épiderme est positive relativement à toutes les autres. La pomme de terre commençant à verdir, quand elle est exposée à la lumière, les effets électriques augmentent en même temps d'intensité.

Le navet se comporte comme le ligneux d'une tige d'arbre, c'est-à-dire que la partie centrale est positive. Il y a un moyen très-simple de mettre en évidence la différence existant entre la nature des liquides de la partie extrême des tubercules et celle des parties intérieures. Il faut pour cela enlever, dans un navet de deux centimètres de diamètre, un centimètre de la partie centrale, en extraire le jus dont on

remplit un vase poreux que l'on plonge dans un autre vase contenant le jus de la partie extérieure. On introduit ensuite dans chacun de ces liquides un diaphragme poreux contenant une dissolution neutre et saturée de sulfate de zinc avec une lame de zinc amalgamé, puis, mettant l'une et l'autre lame en communication avec un galvanomètre, on obtient alors les effets précédemment décrits, mais le courant est constant.

Je rapporterai les résultats obtenus avec des carottes, suffisamment grosses pour en extraire, dans le but de déterminer leurs forces électro-motrices, des jus n'ayant pas la même couleur. Un de ces tubercules avait 7 centimètres de diamètre au collet et présentait 3 couches distinctes; la couche extérieure était rouge, la couche centrale blanche et la couche intermédiaire jaune.

On a exprimé les liquides qui humectaient ces couches et dont la couleur était celle qui leur était propre. On a obtenu les résultats suivants :

Liquide rouge Liquide jaune	Déviation 56° en moyenne.	Force électro-motrice, celle du couple à acide nitrique étant 100, 0,42.

En intervertissant les lames, les résultats ont été les mêmes.

En opérant avec le jus rouge et le jus jaune on a eu les résultats suivants :

Liquide rouge Liquidè jaune	Déviation 60°	Force électro-motrice, celle du couple à acide nitrique étant 100, 0,546.

Voilà donc une force électro-motrice dans un végétal qui est $\frac{1}{200}$ de celle du couple à acide nitrique. La force électro-motrice du couple à liquide rouge et liquide jaune est plus forte que la précédente, comme il était facile de le prévoir, attendu que les deux liquides occupaient les deux parties extrêmes du tubercule, dont les états électriques présentent plus de différence. On conçoit bien que ces forces électro-motrices doivent varier d'un tubercule à un autre suivant le degré de maturité, l'état de dessiccation et la nature même des substances enlevées par les racines.

Des effets électriques observés dans les tissus des végétaux on tire les conséquences suivantes :

Dans les tiges des arbres, les courants électro-capillaires depuis l'épiderme de l'écorce jusqu'aux ligneux, sont dirigés de l'intérieur à l'extérieur; depuis l'écorce jusqu'à la moelle, ils cheminent en sens contraire, c'est-à-dire de l'extérieur à l'intérieur. Le tissu en contact avec la moelle est le pôle positif et la partie de celle-ci qui est en regard le pôle négatif des couples électro-capillaires, etc., etc. Les premières reçoivent les éléments électro-positifs qui réagissent sur les liquides ambiants; il résulte de là une suite de décompositions et de recompositions qui constituent en quelque sorte la vie végétale.

Quant aux liquides qui humectent le sol, comme ils sont positifs à l'égard des liquides introduits dans les racines, il en résulte que la surface extérieure des spongioles est le pôle négatif et la surface intérieure le pôle positif d'un couple électro-capillaire. Par conséquent les éléments déposés par l'action de ce courant sur la surface extérieure sont électro-positifs, et ceux qui sont à l'intérieur sont électro-négatifs.

Le même courant, agissant comme force physique, produit un transport de matières allant du pôle positif au pôle négatif, au travers des tissus, c'est-à-dire de l'intérieur à l'extérieur.

On voit par là combien sont complexes les effets dus aux courants électro-capillaires dans les corps organisés vivants puisqu'ils agissent comme forces physiques et comme forces chimiques sur des liquides qui varient sans cesse de composition. On ne peut encore donner dans ce mémoire que des indications générales sur leur mode d'action dans les phénomènes de nutrition des animaux et des végétaux. Ces indications sont autant de points de repère auxquels viendront se rattacher les résultats que l'on obtiendra dans les recherches que je poursuis avec persévérance, et que je ferai connaître dans un prochain mémoire.

INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE

HUITIÈME MÉMOIRE

SUR LES

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES

PAR M. BECQUEREL

Membre de l'Institut.

Lu dans la séance du 21 novembre 1869.

PREMIÈRE PARTIE.

DE LA RESPIRATION
ET DE LA NUTRITION DES TISSUS; DES COURANTS MUSCULAIRES, NERVEUX
ET AUTRES.

§ I. — *Introduction.*

Les corps vivants possèdent deux propriétés fondamentales sans lesquelles ils ne sauraient exister : l'irritabilité des tissus et la respiration musculaire qui est la cause de la chaleur animale et de la nutrition des tissus; l'irritabilité, qui distingue la nature organisée de celle qui ne l'est pas, est due à une cause inconnue; on a bien cherché à lui donner une

origine électrique, mais sans apporter à l'appui de cette opinion des preuves de nature à porter la conviction dans tous les esprits.

Le phénomène de la respiration fournit sans cesse aux muscles et aux autres tissus les éléments dont ils ont besoin pour leur existence et accomplir les fonctions dont ils sont chargés, en expulsant tout ce qui leur est inutile; son étude est accessible à l'action des forces physico-chimiques, à l'aide desquelles il est possible de rendre compte des effets produits.

Nous considérons un être vivant, dont l'origine est couverte d'un voile que l'homme ne saurait soulever, comme un corps composé d'organes agencés avec une merveilleuse intelligence, qui sont dans une dépendance mutuelle telle que chacun d'eux accomplit l'œuvre dont il est chargé pour entretenir la vie dans toutes leurs parties, en vertu des mêmes forces qui régissent la nature inorganique; nous faisons abstraction toutefois de l'intervention nerveuse et de l'excitabilité des tissus, qui dépendent de l'organisation des corps. Nous ne prendrons donc en considération que les forces qui sont du ressort des sciences physico-chimiques.

Au surplus nous pensons comme notre confrère M. Claude Bernard, qui exprime ainsi son opinion sur les mouvements chez les êtres vivants :

« La manifestation des phénomènes vitaux est étroite-
« ment liée à celle des phénomènes physico-chimiques :
« les propriétés vitales résident dans les éléments orga-
« niques. »

(*Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, page 121.)

Galvani, Nobili, Matteucci et M. Dubois-Reymond ont fait faire par leurs découvertes un pas important à la question : le premier, en montrant qu'on obtient la contraction de la grenouille préparée, en mettant en contact le muscle crural avec le nerf lombaire dégagé des tissus adjacents; le second, que l'effet est dû à un courant électrique allant de l'intérieur à l'extérieur du muscle, par l'intermédiaire du nerf qui sert de conducteur; les deux autres, que les muscles et les nerfs sont des électro-moteurs complets, capables de produire des courants électriques lorsque les circuits sont fermés avec des corps conducteurs; mais rien ne prouvait cependant que de semblables courants intervenaient dans les phénomènes de la vie comme on le suppose aujourd'hui.

Ces propriétés proviennent-elles de ce que les muscles et les nerfs ont une organisation telle, qu'ils donnent lieu à des courants électriques quand ils forment des circuits fermés, ou bien ont-elles une origine physique ou chimique? L'expérience va montrer que l'origine chimique est celle qui paraît démontrée.

Le principe qui m'a servi pour expliquer la respiration musculaire et les phénomènes de nutrition est le même que celui que j'invoquerai pour montrer quelle est la cause du courant musculaire.

Voici en quoi consiste le premier : deux liquides n'ayant pas la même composition chimique étant séparés par un tissu, un espace capillaire de nature quelconque et perméable à ces liquides, pouvant réagir l'un sur l'autre et donnant lieu ainsi à un dégagement d'électricité, il en résulte un couple analogue à un couple voltaïque, lequel est ca-

pable de produire des effets chimiques. Les actions électro-capillaires résultant de ces couples, qui fonctionnent sans interruption, tant que la vie subsiste, réunissent les conditions voulues pour l'entretenir dans toutes les parties de l'organisme.

Rappelons d'abord les propriétés générales des courants électro-capillaires.

Lorsqu'un tube de verre fêlé renfermant une dissolution métallique, d'argent, de cuivre, etc., plonge dans une dissolution de monosulfure de sodium, il résulte de l'action des deux dissolutions l'une sur l'autre un couple électro-chimique, dont l'action est suffisante pour réduire à l'état métallique la plupart des métaux. La paroi de la fêlure en contact avec la dissolution métallique, qui représente le pôle négatif, se recouvre de métal, tandis que l'oxygène et l'acide sont déposés sur la paroi opposée, qui est le pôle positif, et oxydent les éléments du monosulfure, en produisant divers composés.

Des effets électro-chimiques autres que des réductions métalliques sont également produits avec diverses dissolutions, dans des appareils électro-capillaires. Il en est de même encore quand on substitue au tube fêlé un autre tube fermé par le bout intérieur avec une bande de papier-parchemin, ou un autre tissu; dans ces appareils les couples électro-capillaires sont donc constitués de telle sorte que les parois des espaces capillaires se comportent comme des conducteurs solides de l'électricité; la paroi en contact avec le liquide qui se comporte comme acide est le pôle négatif, et la paroi opposée le pôle positif.

Le couple électro-capillaire se trouve ainsi formé de deux

liquides hétérogènes et d'une paroi de nature non conductrice de l'électricité, mais pouvant être mouillée par les liquides et servant alors à transmettre l'électricité, d'où résulte un courant électrique. Les courants électro-capillaires opèrent encore des effets mécaniques d'une grande importance en électro-physiologie; aussi devons-nous faire connaître tous les faits qui sont de nature à mettre en évidence ce double transport de matières en sens contraire.

Porett a trouvé que lorsqu'on décompose, avec la pile et deux lames de platine, de l'eau rendue légèrement conductrice par l'addition d'un acide ou d'un sel, et renfermée dans un vase partagé en deux compartiments, au moyen d'une membrane, on ne tarde pas à s'apercevoir que le niveau s'élève dans la case négative, de sorte qu'il y a transport du liquide, par le courant, de la case positive à la case négative, en même temps qu'il y a décomposition de l'eau; il y a donc eu double effet produit par le courant voltaïque, effet chimique, effet mécanique; mais rien n'indique qu'il n'y ait pas également transport de liquide de la case négative à la case positive, car si ce dernier a lieu et qu'il soit moins fort que l'autre, on ne doit avoir qu'une différence de niveau en faveur du liquide vers lequel le transport a été le plus fort.

Fusinieri a mis en évidence le double courant, en montrant que lorsqu'une décharge électrique éclate entre une boule d'or et une boule d'argent il y a transport de l'or sur l'argent, et réciproquement de l'argent sur l'or. D'un autre côté, l'expérience du perce-carte de M. Tremery montre que l'électricité positive a plus de force pour vaincre les obstacles que l'électricité négative.

D'autres expériences que nous allons rapporter mettent en évidence le double transport dont il s'agit; la première consiste à plonger dans une éprouvette contenant une dissolution concentrée de sulfate de soude un tube fermé par le bout inférieur, avec du papier-parchemin, et rempli d'une dissolution de nitrate de chaux, le niveau étant le même dans les deux vases; il y a transport de la dissolution de nitrate de chaux dans celle de sulfate de soude en vertu du courant allant du pôle négatif au pôle positif; double décomposition produite, formation de sulfate de chaux, qui cristallise en formant de longues stalactites creuses excessivement minces, puis de nitrate de soude qui est transporté dans la dissolution de nitrate de chaux, par le courant allant du pôle positif au pôle négatif, avec une partie du liquide qui tient en dissolution le sulfate; ainsi donc, à l'instant de la double décomposition, le sulfate de chaux reste dans la dissolution de sulfate de soude, tandis que le nitrate de soude est enlevé par le courant direct allant du positif au négatif. Ces stalactites cessent de s'allonger quand elles touchent le fond du vase; il se forme alors des stalagmites de sulfate de chaux.

Cette expérience met bien en évidence le double courant produit par l'électricité agissant comme force mécanique, de même que dans les expériences de Fusinieri.

Dans les expériences précédentes, on a montré le transport, en interposant dans le trajet du courant une cloison poreuse; mais il en est encore de même en opérant sans cloison. On a mis dans un tube fêlé une dissolution de nitrate de cuivre marquant 12 à 15°, puis on a introduit ce tube dans une éprouvette contenant une dissolution de mono-

sulfure de sodium ayant à peu près la même densité; le niveau était le même des deux côtés, du cuivre métallique n'a pas tardé à se déposer sur la face négative de la fissure, et quelques jours après le liquide a commencé à s'élever dans le tube, par l'effet du courant dirigé du positif au négatif; quinze jours après, l'élévation était de 4 centimètres.

Le dépôt de cuivre était peu considérable, attendu que la fêlure était excessivement étroite, ce qui rendait très-faible l'action électro-capillaire, car, en opérant avec un autre tube dont la fêlure était un peu plus grande, le dépôt de cuivre a été plus abondant et l'élévation du liquide dans le tube a eu lieu comme dans l'expérience précédente.

On voit par là que l'expérience de Porret réussit également bien sans cloison membraneuse dans un couple électro-capillaire, les deux liquides n'étant séparés que par un espace capillaire de quelques millièmes de millimètre de largeur.

La vitesse du sang étant un des éléments à prendre en considération dans la respiration des tissus, je crois devoir rappeler ici les causes qui influent sur la circulation du sang artériel :

1° La pesanteur, qui agit pour accélérer ou ralentir la rapidité de la circulation, suivant la position du corps;

2° Les pressions extérieures qui diminuent les diamètres des artères;

3° La contraction d'un muscle, l'extension ou la flexion forcée d'une articulation;

4° La respiration.

Les artères non-seulement transportent le sang depuis le cœur jusqu'aux parties les plus superficielles de l'organisme, mais elles possèdent encore la faculté de transformer l'afflux du sang intermittent qu'elles transportent, en un mouvement continu, quand il entre dans les capillaires; elles y parviennent, en réglant leur calibre de manière à fournir à chaque organe la quantité de sang dont il a besoin. Le rôle des vaisseaux est donc de modifier et de répartir l'impulsion qui vient du cœur, en réglant les résistances que le sang éprouve dans son passage. Quel est son cours dans les capillaires? Le sang passe des artères dans les veines par l'intermédiaire des vaisseaux capillaires, d'où il sort pour subvenir à la nourriture et à l'accroissement des tissus organiques, ce qui constitue la respiration musculaire à l'égard des muscles.

Dans les vaisseaux capillaires la vitesse du sang est tellement ralentie, que la direction des vaisseaux n'a plus la même importance dans les changements brusques, où il y a toujours perte de force vive, quand il y a changement de direction, surtout dans les anastomoses sans nombre que forment les capillaires.

On observe au microscope tous les changements de vitesse dans la circulation du sang de la grenouille; on suit le mouvement des globules dans les capillaires, leur déformation dans les capillaires les plus larges, où le courant est tellement rapide qu'il n'est pas possible de distinguer les formes des globules; dans des vaisseaux plus petits, au contraire, les globules cheminent avec lenteur et souvent à une assez grande distance les uns des autres, ce qui permet de suivre leur cours.

La nature du sang exerce aussi une influence sur la vitesse de circulation du sang, comme on en a un exemple dans la fièvre. Lorsque le sang arrive dans le système veineux, sa vitesse est bien réduite par suite des résistances qu'il a éprouvées dans les vaisseaux qu'il a traversés ; ce qui reste alors de force au sang est une quantité variable très-faible, quand les capillaires sont très-resserrés, et plus grande quand ils sont relâchés; bien que la vitesse de circulation du sang veineux soit très-faible, elle peut néanmoins augmenter assez rapidement quand des causes locales poussent le sang du côté de la poitrine.

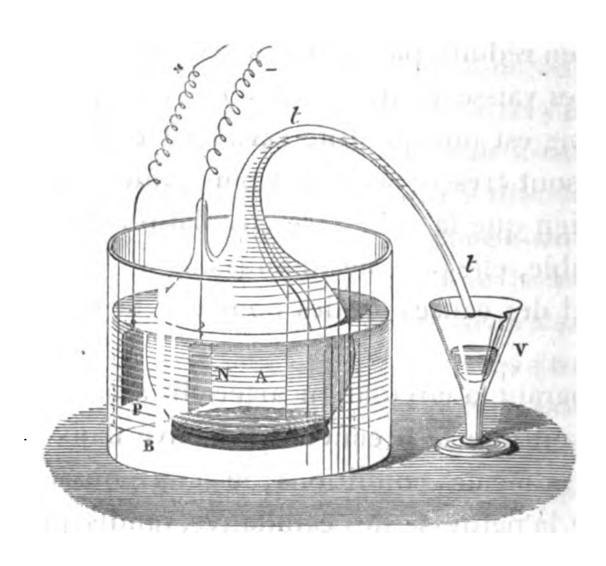
En comparant la circulation artérielle à la circulation veineuse, on voit que la première se trouve dans tout le système avec les mêmes conditions; le sang poussé par le cœur lutte contre la petitesse des capillaires, tandis que la circulation veineuse présente la plus grande variété dans la répartition des forces impulsives et des résistances.

Avant d'exposer la théorie de la respiration musculaire, nous ne croyons pas inutile de rapporter les résultats de plusieurs expériences se rattachant au sujet que nous traitons, avec d'autant plus de raison, que l'une d'elles fait connaître les propriétés du sang désoxygéné, ainsi que les effets concomitants produits sur le sang défibriné d'un chien, par un courant électrique agissant comme force chimique et comme force mécanique; l'appareil destiné à mettre en évidence ces propriétés a été disposé comme il suit :

A, ampoule soufflée à l'extrémité d'un tube recourbé de très-petit diamètre, ouverte à l'extrémité opposée et fermée avec un morceau de vessie ; le tube est destiné à donner écoulement au sang défibriné qu'on y introduit quand il est dé-



placé. B, vase contenant le même sang dans lequel plonge l'ampoule. P et N, deux lames de platine mises en commu-



nication l'une avec le pôle positif d'une pile à sulfate de cuivre, composée de trois éléments au moins, l'autre avec le pôle négatif; la première plonge dans le vase B, la seconde dans le liquide A. Aussitôt que le circuit est fermé, la décomposition commence : il y a un dégagement de gaz abondant dans A et B; le sang de A s'élève dans le tube capillaire, effet dû au courant cheminant du pôle positif au pôle négatif, emportant avec lui le gaz hydrogène émulsionnant le sang qui s'écoule dans V; ce liquide est le résultat de la désoxydation *du sang défibriné par le gaz hydrogène.*

Le sang qui s'écoule par le siphon et qui doit être désoxydé a une couleur brun foncé; il est alcalin, ne contient que des globules rouges en partie décomposés et des globules blancs; il jouit de la propriété de dissoudre peu à peu les

globules du sang, et répand l'odeur de la viande avancée; la liqueur est transparente.

Le sang qui se trouve dans le vase positif présente quelques globules non décomposés et une foule de débris de globules dissous; il jouit en outre des propriétés suivantes : traité par l'acide nitrique, il donne un précipité blanc d'albumine, de même avec le bichlorure de mercure, ainsi qu'avec le sous-acétate de plomb. Avec l'alcool, aucun effet; le résidu de la dissolution albumineuse, incinéré, a donné du carbonate de soude.

Le mode d'expérimentation précédent pourrait être employé pour séparer un liquide soluble d'un autre également soluble; quand il y a un dégagement abondant de gaz hydrogène capable d'émulsionner le liquide négatif, ce gaz emporte avec lui le nouveau liquide au fur et à mesure qu'il se produit.

Une dissolution d'albumine soumise à l'action d'un courant, comme on vient de le dire, a donné au pôle positif de l'albumine coagulée et au pôle négatif, comme l'ont observé MM. Prévost et Dumas, un mucus qui a été enlevé avec l'hydrogène par le courant dirigé du pôle positif au pôle négatif.

D'après ce qui précède, on voit que si l'on fait passer un courant électrique au moyen de deux aiguilles de platine introduites par le procédé de l'acupuncture, dans certaines parties de l'organisme, il pourra se produire dans les capillaires des effets semblables, c'est-à-dire des effets d'oxydation et de désoxoydation, et de transport de matières solides et liquides. Nous rappellerons à cette occasion une expérience de Dutrochet, qui a d'autant plus d'intérêt que les effets obtenus avec les courants voltaïques peuvent être pro-

duits par les courants électro-capillaires : il a constaté que les solutions alcalines concentrées coagulent l'albumine, tandis que les acides acétique et phosphorique la dissolvent, quand ils sont étendus.

En étudiant au microscope les effets d'un courant sur une dissolution de blanc d'œuf placée sur une petite lame de verre où se trouvaient les deux bouts de deux fils de platine en communication avec une pile, il a observé qu'il se forme autour du pôle positif une sorte d'atmosphère transparente, à laquelle il a donné le nom d'onde positive et qui n'est autre que de l'albumine dissoute dans un acide faible; au pôle négatif, il se forme une coagulation d'albumine dans l'alcali; autour de l'onde, et par conséquent dans l'albumine, on aperçoit des ondulations continuelles. En soumettant à l'expérience de l'eau rendue émulsive par le jaune d'œuf, on observe d'autres effets; dès l'instant que les deux fils conjonctifs sont mis en communication avec la pile, on aperçoit une onde jaunâtre naître autour du pôle négatif et une onde opaque à sa circonférence et diaphame jaunâtre à son centre au pôle positif.

L'onde alcaline paraît être due à la matière organique du jaune d'œuf dissous dans un alcali, et l'onde positive à la même matière dissoute dans un acide; l'acide et l'alcali provenant de la décomposition des sels contenus dans le liquide ou bien du jaune d'œuf. Dans cette expérience, on voit deux courants dirigés en sens inverse, transportant des globules qui doivent jouir de propriétés contraires, sans lesquelles ils ne pourraient pas être transportés les uns du pôle positif au pôle négatif, les autres dans une direction opposée. D'un autre côté, l'agrégat qui se forme au milieu,

entre les deux pôles, en est une preuve, car l'un des courants reprend ce que l'autre a apporté. Cette expérience met de nouveau en évidence le double courant mécanique produit par l'électricité. L'expérience suivante est encore aussi importante que les précédentes, en ce qu'elle permet de suivre le mouvement des globules.

Les deux matières organiques dissoutes, l'une dans un acide, l'autre dans un alcali, conservent leur structure globulaire ; ce sont de petits globules qui, par leur rapprochement, forment la partie opaque de l'onde positive; bien qu'on n'aperçoive aucun globule dans l'onde négative, il en existe cependant, comme on peut le voir, en substituant au jaune d'œuf quelques gouttes de lait. Les deux ondes s'éloignant de plus en plus des pôles finissent par se toucher à leur intersection commune; il se forme alors un solide allongé formé d'un agglomérat de globules; en intervertissant les communications avec la pile, il se produit une autre série de phénomènes; peu à peu la matière est dissoute et finit par disparaître entièrement; on voit apparaître alors deux nouvelles ondes semblables aux précédentes et qui s'avancent en produisant les mêmes effets; si l'on ajoute à l'émulsion du jaune d'œuf une quantité extrêmement petite d'alcali, on n'obtient plus qu'une seule onde, qui est celle du pôle positif; tout le reste du liquide forme l'onde négative. La coagulation a toujours lieu à la jonction commune; en rendant l'émulsion légèrement acide, il ne se manifeste que l'onde alcaline.

Ces effets qui peuvent se produire dans les actions électro-capillaires de l'organisme méritent d'être pris en considération. Ils sont d'autant plus remarquables, que l'on n'a-

vait observé encore de précipités dans les dissolutions soumises à l'action de la pile qu'à l'extrémité de fils métalliques, tandis qu'ici ils se manifestent entre les deux pôles, à la rencontre des solutions albumineuses formées autour des électrodes et qui s'étendent autour de celles-ci par l'action des deux courants cheminant en sens contraire. Or les muscles, les nerfs et, en général, les tissus organiques étant formés de globules dont les dimensions sont les mêmes pour chaque organe, ne serait-il pas possible qu'ils éprouvassent ce double transport, de la part des courants électro-capillaires? Les uns seraient transportés de proche en proche au pôle positif, les autres au pôle négatif. Ce double transport semblerait prouver qu'il existe des globules doués de propriétés contraires, les uns se comportant comme acides, les autres comme alcalis; ces globules seraient-ils aptes, par leur réunion, à former des composés, comme les bases et les acides en se combinant? Ce n'est là encore toutefois qu'une conjecture.

Tels sont les principes sur lesquels nous nous appuierons pour expliquer les phénomènes de nutrition dans les tissus, et les élaborations qui ont lieu dans divers organes d'un corps vivant.

Nous nous bornerons à démontrer l'existence des forces physico-chimiques qui interviennent dans cette nutrition, sans chercher à expliquer les produits si nombreux et si variés, résultant de la respiration musculaire, de la digestion, de la transformation qu'éprouvent certains composés dans des organes spéciaux, etc., etc. Car la science physico-chimique n'est pas assez avancée pour que l'on puisse essayer de résoudre ces diverses questions.

§ II. — *De la respiration musculaire et de la nutrition des tissus.*

Lavoisier est le premier qui ait annoncé que la respiration était due à une combustion lente de carbone et d'hydrogène, l'air fournissant l'oxygène, et la substance même de l'animal la matière combustible des trois régulateurs principaux de la machine humaine, dit ce grand chimiste : la respiration, la transpiration, la digestion (*Mémoires de l'Académie des sciences*, 1777, 1790) : « La respiration, en opérant dans « le poumon, et peut-être aussi dans d'autres endroits du « système, une combustion lente d'une partie de l'hydrogène « et du carbone que contient le sang, produit un dégage- « ment de calorique absolument nécessaire à l'entretien de « la chaleur animale, etc., etc. » On voit par ce passage que Lavoisier n'était pas aussi exclusif qu'on le pense, puisqu'il dit que la respiration pouvait avoir lieu également dans d'autres endroits que les poumons. Il ajoute plus loin : « Aucune expérience n'a prouvé d'une manière décisive que « le gaz acide carbonique qui se dégage pendant l'expiration « se soit formé immédiatement dans les poumons ou dans le « cours de la circulation, par la combinaison de l'oxygène « de l'air avec le carbone du sang. »

Il y avait donc incertitude dans l'esprit de Lavoisier, comme l'observe judicieusement M. Bert, sur les lieux où se produit l'acide carbonique.

Je n'entre pas ici dans la discussion de toutes les idées qui ont été mises en avant par les physiologistes, pour ex-

pliquer la respiration; je me bornerai à dire qu'on admet aujourd'hui que la respiration s'effectue dans tous les tissus pendant le trajet du sang.

Un grand nombre de physiologistes ont concouru à établir cette doctrine; nous citerons particulièrement Spallanzani, William Edwards, Liebig, Claude Bernard, Matteucci, Hermann, etc., etc.

On s'appuyait, pour soutenir l'opinion de Lavoisier, sur des expériences qui sont entachées d'erreur, suivant M. Claude Bernard.

On avait admis que le sang artériel était plus chaud que le sang veineux; mais c'est le contraire qui a lieu, et cela parce qu'on avait toujours pris la température du sang veineux dans les veines superficielles qui sont refroidies par leur contact incessant avec l'air extérieur; en opérant sur des vaisseaux intérieurs, on trouve, au contraire, que le sang veineux possède une température plus élevée que le sang artériel.

Les expériences sur la température des parties intérieures de l'homme et de celles des animaux, à l'aide d'aiguilles thermo-électriques, sans y produire de lésions sensibles, que j'ai faites avec le concours de M. Breschet, il y a plus de trente ans, sont de nature à prouver que la chaleur est bien produite par la nutrition des muscles et nullement dans les poumons. Ces expériences ont conduit aux conséquences suivantes :

1° La température du tissu cellulaire est inférieure de 1°,5 à celle des muscles; or, comme il est impossible d'admettre que le passage de l'une à l'autre soit brusque, on est porté à croire que la température des muscles est à son maximum,

au milieu de leur tissu, dans les parties où le système capillaire est plus rapproché des gros vaisseaux, et qu'elle va en diminuant jusqu'à la surface du membre, où elle est sans cesse modifiée par la transpiration cutanée, et le contact plus ou moins direct avec l'air qui possède une température inférieure ;

2° La température des muscles éprouve des variations par la contraction, le mouvement et la compression. Supposons que l'une des soudures soit introduite dans le muscle brachial ; si l'on ploie alors à diverses reprises l'avant-bras, de manière à contracter le muscle, on ne tarde pas à s'apercevoir que la température du muscle s'élève successivement jusqu'à un demi-degré. En sciant du bois, l'augmentation de température va jusqu'à 1 degré.

Il a été prouvé par cette expérience, qui a été répétée un certain nombre de fois, toujours avec le même succès, que la contraction d'un muscle jouit de la propriété d'élever la température de ce dernier.

L'agitation et le mouvement tendent donc à élever la température des muscles ; de là on tire la conséquence, que la cause qui produit la chaleur existe dans leur intérieur, ainsi que dans les tissus qui reçoivent des capillaires.

Ces faits sont expliqués dans la théorie mécanique de la chaleur, en disant qu'il y a transformation de force, c'est-à-dire que le travail exécuté est transformé en son équivalent en chaleur; mais cette transformation s'opère en vertu d'une cause que nous recherchons. Les physiologistes se bornent à dire que l'accroissement de travail augmente la respiration musculaire et, par suite, la quantité de chaleur produite ;

3° La compression d'une artère diminue, au contraire, la

température des muscles situés au-delà du vaisseau adjacent. On est conduit par tous les faits que nous venons de rapporter à chercher le siége de la combustion vers l'extrémité commune des veines et des artères, dans les tissus.

Avant de montrer comment les courants électro-capillaires interviennent dans la respiration musculaire et la nutrition des tissus, nous rapporterons les résultats de plusieurs séries d'expériences faites avec des tissus détachés du corps.

Voici les motifs qui ont engagé à faire ces recherches : lorsqu'on veut étudier les propriétés électriques d'un tissu nouvellement séparé du corps, ou qu'on le découvre avec le scalpel, il ne faut pas se hâter d'en conclure que les effets électriques que l'on observe aient lieu également sans modifications, sous l'empire de la vie, car les conditions ne sont pas identiquement les mêmes.

Ces tissus sont exposés aux influences atmosphériques, notamment à une oxydation rapide, à des variations de température et à des alternatives de sécheresse et d'humidité, qui sont des causes qui influent sur les effets électriques, et dont il faut tenir compte dans la discussion des faits et dans les conséquences qu'on en tire ; en un mot, il faut écarter les effets résultant de causes secondaires.

Nous avons cherché d'abord si l'oxydation qui s'opère au contact de l'air et des muscles et d'autres tissus, quand ils ne sont plus sous l'empire de la vie, est indépendante ou non de leur organisation, et si elle a des rapports avec celle qui se produit dans les corps vivants par l'intermédiaire du sang artériel.

Spallanzani avait déjà observé que le sang retiré des vais-

seaux artériels devenait sang veineux au contact de l'air. M. Claude Bernard ayant placé dans une éprouvette des muscles de grenouille avec de l'air atmosphérique renfermant une quantité inappréciable d'acide carbonique, cet air, quelque temps après, en contenait une quantité notable, et l'oxygène avait fini par disparaître; l'air ne contenait plus que de l'acide carbonique et de l'azote; le muscle avait donc respiré, alors qu'il n'était plus sous l'empire de la vie; il avait donc éprouvé une véritable combustion.

La respiration musculaire, comme celle des autres tissus, introduit de l'acide carbonique dans le sang; sous cette influence, *le sang veineux sort des muscles plus ou moins noir*, tandis qu'il y est entré rouge; cette couleur varie suivant les circonstances, et ces variations indiquent celles que subit lui-même le phénomène physique; ainsi le sang veineux des muscles est plus rouge chez un malade affaibli que chez un homme sain et vigoureux. Chez les personnes qui tombent en syncope il devient subitement aussi rouge que le sang artériel.

Le muscle en mouvement consomme aussi beaucoup plus d'oxygène, et rend bien plus d'acide carbonique, ce qui change notablement la composition du sang qui en sort.

Quant au sang artériel dans les conditions ordinaires de rapidité de la circulation, sa composition au point de vue du gaz qu'il tient en dissolution doit être indépendante de ces diverses circonstances, puisqu'il est envoyé du cœur dans un état constant et unique, et qu'il n'éprouve dans son trajet qu'un ralentissement dans sa circulation, lequel serait susceptible de le modifier sur différents points plutôt que sur d'autres; quant au sang veineux qui sort du muscle, sa

température doit être en rapport avec celle de ce dernier.

On trouvera ci-après les résultats de plusieurs expériences faites par M. Claude Bernard sur le vivant, qui mettent en évidence les quantités de gaz oxygène et de gaz acide carbonique contenues dans les deux espèces de sang.

DÉSIGNATION DU SANG.	1re EXPÉRIENCE.		2e EXPÉRIENCE.	
	Gaz oxygène contenu sur 100 cent. cub.	Gaz acide carbonique contenu sur 100 cent. cub.	Oxygène.	Acide carbonique.
Muscles droits couturiers du chien.				
Sang artériel.	$7^{cc}31$	$0^{cc}81$	9,31	0,10
Sang veineux.				
Le muscle à l'état de repos, mais soumis à l'influence de son nerf.	$5^{cc}00$	$2^{cc}50$	8,21	2,01
Sang veineux, le muscle à l'état de contraction complète, c'est-à-dire aussitôt après la contraction obtenue et toujours sous l'influence du muscle. .	$4^{cc}60$	$4^{cc}20$	3,31	3,21
Idem, à l'état de paralysie obtenu par la section du nerf qui s'y distribue.	$7^{cc}20$	$0^{cc}50$	»	»

Ces résultats montrent que la respiration musculaire varie suivant que le muscle est à l'état de repos, de mouvement, ou qu'il est paralysé. Quand il est en mouvement, il consomme beaucoup plus d'oxygène et rend plus de gaz acide carbonique, ce qui influe nécessairement sur la composition du sang. Dans l'état de paralysie ou d'immobilité du muscle,

le sang veineux contient très-peu de gaz acide carbonique, ce qui prouve que la respiration musculaire est très-faible.

Deux mots sur la composition des muscles, qu'il est nécessaire de prendre en considération dans leur respiration.

Tant que le muscle est excitable, ses fibres contiennent en solution concentrée plusieurs composés albumineux, tels que la syntonine, la musculine, puis la myosine, etc., etc; mais, s'il reste des doutes sur plusieurs transformations, tous les physiologistes sont unanimes pour admettre en principe que les oxydations qui s'opèrent dans le muscle sont le résultat de la respiration musculaire; pendant qu'elle se produit, cet organe absorbe de l'oxygène et dégage du gaz acide carbonique. Les échanges gazeux acquièrent toute leur intensité pendant la vie, et surtout pendant l'excitation, comme on vient de le voir en comparant le sang du muscle qui fonctionne à celui du muscle en repos.

Nous avons cherché d'abord si l'oxydation qui s'opère non-seulement dans le muscle, mais encore dans les autres tissus pendant le travail de la respiration artificielle, est dépendante ou non de son organisation. Pour le savoir, on a opéré concurremment en plaçant sur le mercure, dans une éprouvette remplie de gaz oxygène, un morceau de muscle de bœuf intact et, dans une autre, le même poids d'un muscle réduit en pâte très-fine; on a fait deux autres préparations semblables, en remplaçant l'oxygène par l'hydrogène; en analysant le gaz, on a trouvé les résultats consignés dans le tableau suivant.

DÉSIGNATION et SON ÉTAT PHYSIQUE.	MUSCLE dans LE GAZ OXYGÈNE. — ACIDE CARBONIQUE formé.	MUSCLE dans L'HYDROGÈNE. — GAZ ACIDE CARBONIQUE formé.	COURANT ÉLECTRIQUE de l'intérieur à l'extérieur du muscle. — DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
1re EXPÉRIENCE. Muscle de bœuf nouvellement tué. *Idem.*, réduit en pâte.	En 24 heures. $3^{cc}52$ p. 100 8 00	En 48 heures. $8^{cc}33$ 5 62	» » » »
2e EXPÉRIENCE. Muscle de bœuf intact; 50 grammes avec 125^{cc} d'oxygène.	En 48 heures. $61^{cc}70$ p. 100 Sorti. Acide carboniq. $77^{cc}1$ Oxygène. . . 47 9 125 0	» » » » » »	» » » » » »
3e EXPÉRIENCE. Muscle de bœuf frais. *Idem*, en pâte.	» » » » » »	» » » » » »	Le 1er jour : 70°, 80°, 87°. Le 2e jour : 70°, 76°, 87. Le 1er jour : 70°, 71°. Le 2e jour : 72°, 70°7.
4e EXPÉRIENCE. Muscle de bœuf frais en pâte dont on a fait 4 parts de 25 grammes chacune.	En 24 heures. 1re part. . . $23^{cc}41$ 2e — . . . 23 81	En 24 heures. 1re part. . . $4^{cc}26$ 2e part. . . 4 68	» » » »
5e EXPÉRIENCE. Muscle de bœuf en pâte dans l'air. Muscle intact. . . . . Muscle en pâte. . . . . Muscle intact.	» » » » » » » »	» » » » » » » »	Au bout de 24 heures. 72°. 70°. Au bout de 2 jours. 80°. 76°.

On voit 1° qu'un muscle intact mis en contact avec l'oxygène respire de même que lorsqu'il est en présence du sang

artériel, mais dans d'autres conditions de milieu, de température, et d'etat hygrométrique et autres; aussi les résultats ne sont pas identiquement les mêmes; 2° que lorsque le muscle est désorganisé et réduit en pâte très-fine, il consomme une quantité d'oxygène double de celle qui est consommée par un muscle intact, de même poids et à la même température; on a eu un volume de gaz acide carbonique égal à celui du gaz oxygène absorbé. Cette différence tient à ce que le muscle en pâte, ayant un plus grand nombre de points de contact avec l'oxygène que le muscle intact, doit éprouver une combustion plus active.

Dans l'hydrogène (1re expérience qui a duré 24 heures) il y a eu une inversion, c'est-à-dire qu'il y a eu plus de gaz carbonique formé dans le muscle entier que dans le muscle en pâte, tandis que dans une autre expérience qui a duré 24 heures (4me expérience), dans l'oxygène avec la pâte musculaire, on a eu environ six fois plus d'acide carbonique de formé que dans l'hydrogène.

Les expériences avec l'hydrogène prouvent que la substance même du muscle concourt à la formation de l'eau ou de composés hydrogénés; mais, dans la respiration musculaire, si le muscle éprouve des pertes, elles sont réparées par les effets de cette même respiration. Il est probable que dans les cas où le sang artériel ne fournit pas assez d'oxygène à la respiration, le muscle y pourvoit aux dépens de sa propre substance qui se brûle elle-même peu à peu. Le muscle vivrait donc de sa propre substance.

On a reconnu, dès l'instant que le circuit a été fermé, l'existence d'un courant électrique, allant de l'intérieur à l'extérieur du muscle, c'est-à-dire que la lame placée à la surface

avait fourni au courant l'électricité positive et la lame à l'intérieur l'électricité négative; résultat qui est le même que celui que Matteucci avait obtenu dans l'expérience où il a mis en évidence le courant musculaire. Or, dans cette expérience, le muscle étant en contact avec l'air, il est très-probable, d'après ce qui précède, que l'effet observé par Matteucci devait dépendre de la réaction du liquide qui se trouve dans les parties superficielles de l'os sur celui qui humecte la moelle et dont nous parlerons plus loin.

La troisième expérience du tableau précédent a donné les résultats obtenus. Le 1er jour on a eu des déviations égales à 70°, 80°, et 72°; elles ont été également le second jour à 70°, 76°, 87°; les variations dans les intensités ont été peu considérables.

Or, la force électro-motrice du sang artériel et du sang veineux dans leur contact, par l'intermédiaire du tissu des vaisseaux, ayant donné une déviation égale à 72°, qui correspond à une force électro-motrice égale à 0,57, celle du couple à acide nitrique étant 100, on voit par là que la force électro-motrice est un peu plus forte que celle qui est produite au contact du sang artériel et du sang veineux, et que celle du sang et des sérosités des muscles.

Il n'y a là rien d'étonnant, attendu que la quantité d'oxygène fournie au muscle par l'air ambiant doit être plus grande que celle qui provient du sang artériel.

On a opéré de la même manière (4me expérience) avec un muscle réduit en pâte très-fine; on a eu des résultats absolument semblables aux précédents, quant à la direction et à l'intensité du courant; il est à craindre, d'après cela, que Matteucci ait fait confusion.

Les résultats de la cinquième expérience montrent que l'extérieur des muscles étant plus attaqué que l'intérieur, à cause du contact avec l'air, il en résulte à l'extérieur un produit acide, l'acide carbonique peut-être, tandis que l'intérieur est peu ou point attaqué dans les premiers temps. Il est à croire que c'est là une des causes qui déterminent le courant musculaire de l'intérieur à l'extérieur, comme dans l'animal vivant, ou du moins quand les muscles sont mis en contact avec l'air par une préparation préalable. Il est bien prouvé par là que ce courant est bien dû à l'action de l'oxygène sur les composés hydrocarbonés du muscle, ce qui constitue une véritable combustion, à laquelle on rapporte la respiration musculaire.

Jusqu'ici il n'a été question que de la respiration musculaire; mais, à côté des muscles, se trouvent les tendons, les nerfs, les vaisseaux et les os, qui sont également influencés par l'oxygène du sang artériel, lequel passe des capillaires dans les tissus, d'où résulte une respiration spéciale pour chacun de ces tissus, et dont nous allons faire connaître les effets.

On a commencé par faire deux expériences comparatives dans deux éprouvettes séparées, contenant chacune 125 centimètres cubes d'oxygène, dans l'une desquelles on a mis 56 grammes de muscle de bœuf nouvellement tué, et dans l'autre autant de tendons du même animal. Le lendemain on a trouvé que le gaz où se trouvait le muscle n'avait pas changé de volume, c'est-à-dire que l'oxygène absorbé avait été transformé en gaz acide carbonique, tandis que l'autre avait notablement diminué. Vingt-quatre heures après, le gaz où était le tendon avait encore diminué de volume, tandis que celui de l'autre était resté le même.

L'analyse des gaz a donné les résultats suivants :

Gaz où était le muscle.

Acide carbonique...........................	112cc 37
Oxygène....................................	12 33
	125cc 00

Gaz dans lequel était le tendon.

Gaz disparu................................	40cc
Acide carbonique...........................	34
Oxygène....................................	51
	125cc

Cette absorption de gaz oxygène par le tendon pouvait provenir, soit du gaz acide carbonique résultant de la respiration de ce tissu et absorbé par le tissu, soit de l'absorption du gaz oxygène lui-même par le tendon à la manière du corps poreux ; en conséquence, on a fait les expériences suivantes pour décider l'alternative : 15 grammes de tendon ont été mis dans 75cc d'oxygène; 24 heures après le volume était diminué de 7cc ; l'analyse du gaz a donné :

Gaz disparu................................	7cc	
Gaz acide carbonique.......................	14	7
Oxygène....................................	53	3
	75cc	0

Cette expérience a confirmé les résultats de la précédente.

On a reconnu dans une troisième expérience que l'absorption est presque nulle le 1er jour, et qu'elle va ensuite en augmentant de vitesse. On s'est assuré que l'oxygène absorbé

était entré dans une nouvelle combinaison, car en chauffant le tendon il ne s'est dégagé aucun gaz.

Pour savoir s'il y avait eu ou non absorption de gaz acide carbonique, une fois formé dans l'acte de la respiration du tendon, on a fait l'expérience suivante, dont le résultat est décisif.

On a pris un tendon de bœuf pesant 67 grammes, et on l'a placé dans 150^{cc} de gaz acide carbonique; 48 heures après le volume du gaz était diminué de 11 cent., et, 48 heures encore après, il y avait une nouvelle absorption de 16^{cc}; en résumé, il y avait eu une absorption de 27 cent. d'acide carbonique dans l'espace de quatre jours. En chauffant à 70° le tendon pour en dégager le gaz acide carbonique, on n'a pu y parvenir. On est donc disposé à croire que le gaz acide carbonique ou du moins ses éléments sont entrés dans de nouvelles combinaisons faisant partie du tendon.

Les os respirent comme les muscles et les tendons, du moins les matières organiques qu'ils renferment dans leurs pores; les expériences suivantes vont en fournir la preuve.

1re expérience. 40 grammes de fragments d'os de bœuf frais ont été mis dans une éprouvette, contenant 100 cent. cub. de gaz oxygène, et autant de fragments d'os dans une autre éprouvette, avec le même volume de gaz acide carbonique; 48 heures après, on a trouvé dans l'éprouvette où était l'oxygène une absorption de 7 cent. c., et le gaz restant contenait 11 p. c. d'acide carbonique; dans l'éprouvette où était l'acide carbonique, il y a eu absorption de 33 cent. c.

Ces résultats annoncent déjà qu'il y a eu et qu'il doit y avoir également respiration des matières organiques qui se trouvent dans les os des êtres vivants.

On a placé deux tibias d'un chien nouvellement tué, — l'un était entier et l'autre en morceaux, — dans deux éprouvettes contenant 100 cent. cub. d'acide carbonique; les deux résultats ont été les mêmes dans l'un et dans l'autre.

Au bout de 48 heures, avec le tibia intact on a eu :

Gaz absorbé.....................................	7c
48 heures après..................................	1
48 heures plus tard..............................	Nulle.

Mêmes résultats avec le tibia en morceaux.

Les 7cc de gaz absorbé étaient de l'acide carbonique.

On voit par ces résultats que l'absorption est rapide dans les premiers temps, qu'elle diminue et finit par devenir nulle quand l'os en est saturé; il se comporte dans ce cas comme tous les corps poreux.

Un os de chien, après avoir été saturé d'acide carbonique, a été introduit dans une éprouvette remplie d'hydrogène; trois jours après le volume de l'hydrogène avait sensiblement diminué, bien que la température du milieu ambiant fût sensiblement égale à celle d'acide carbonique que l'os avait précédemment absorbé. Le gaz analysé contenait 8 p. c. d'acide carbonique.

On a cherché si un os saturé d'acide carbonique ne pouvait pas en absorber une nouvelle quantité; on a trouvé que l'absorption a été sensiblement égale à la première.

La moelle n'a présenté qu'une légère absorption; l'eau enlève donc l'acide carbonique absorbé, de sorte qu'il devient apte ensuite à en absorber une nouvelle quantité; il faudra

essayer si l'eau de lavage renferme du gaz acide carbonique, puis chauffer l'os.

Les expériences qui précèdent mettent en évidence deux faits importants : le premier montre que l'os frais respire du moins la matière organique qu'il contient, qu'il se sature d'acide carbonique, que la quantité d'acide qui se forme ensuite se dégage ou plutôt rentre dans les capillaires et est entraînée par le sang veineux dans sa circulation ; les parois des cavités osseuses doivent servir à établir les courants électro-capillaires résultant de l'électricité dégagée dans la réaction du gaz oxygène absorbé sur les matières organiques qui se trouvent dans les cavités.

Il restait à examiner les effets électriques produits pendant l'oxydation du muscle d'un animal récemment tué, et longtemps après, afin de les comparer à ceux qu'ont obtenus Matteucci et M. Dubois-Reymond dans leurs intéressantes recherches sur le courant musculaire. Ce courant, tel que l'a défini Matteucci, est celui qui est produit lorsqu'un conducteur non oxydable, dépolarisé, est mis en contact d'un bout avec la surface d'un muscle récemment tué, de l'autre, avec une section transversale du même muscle; un galvanomètre se trouvant dans le circuit; on obtient ainsi un courant électrique dirigé de l'intérieur du muscle à sa surface.

M. Dubois-Reymond, qui a analysé avec soin ce phénomène, a établi les trois lois suivantes : dans un muscle dont on a pratiqué deux sections transversales artificielles, on obtient un courant dans le conducteur allant de la section longitudinale à la section transversale, ou dans le muscle de la section transversale à la section longitudinale. Ce courant

a d'autant plus d'intensité que les extrémités de l'arc conducteur sont plus rapprochées du milieu de chaque section : c'est la première loi de M. Dubois-Reymond.

On obtient également le courant musculaire en mettant en contact les deux extrémités du fil de galvanomètre avec deux points d'une même section; mais c'est à la condition que si l'on prend deux points de la section longitudinale, celui qui est le plus près du milieu du muscle est positif à l'égard de celui qui est le plus rapproché de la section transversale; il ne se produit donc aucun courant, en expérimentant sur les deux points de la section longitudinale également éloignés du milieu du muscle: c'est la deuxième loi.

La troisième loi consiste en ceci : lorsqu'on fait une section oblique dans un muscle, on trouve que le point le plus négatif de la section transversale ne se trouve pas en son milieu, mais tout près de l'angle aigu; de même, les points les plus positifs de la section longitudinale ne sont plus à l'équateur, mais plus près de l'angle obtus.

M. Dubois-Reymond a cherché à expliquer le courant musculaire en supposant que les fibrilles musculaires, étant composées de petites lames superposées les unes sur les autres, devaient former des piles voltaïques à colonne. Matteucci a combattu avec raison cette hypothèse en donnant pour motif que, lorsqu'on sépare en deux une semblable pile, les deux faces opposées possèdent chacune une électricité contraire; tandis que, lorsqu'on coupe en deux un muscle, les deux faces en regard ont la même électricité.

Nous reviendrons sur cette théorie dans la seconde partie de ce mémoire.

Passons à d'autres explications.

Dubois-Reymond, Liebig et autres ont constaté que les muscles détachés du corps, chez les animaux à sang froid, conservent longtemps comme les muscles la propriété d'absorber l'oxygène et d'émettre de l'acide carbonique; le même phénomène ayant lieu dans les muscles dont on a enlevé le sang, M. Hermann en conclut qu'on doit l'attribuer à la substance même du muscle. Or, comme il en est de même dans les muscles rigides, on doit attribuer cet effet à une décomposition putride, qui commence à la surface et surtout aux sections transversales moins protégées.

M. Liebig, dans son mémoire sur les liquides de la chair musculaire, a émis le premier une hypothèse sur l'origine de l'électricité des muscles. Après avoir prouvé que dans les muscles il existe un acide qui en imbibe les éléments, lequel se trouve en contact avec la sérosité du sang qui est alcaline, cet éminent chimiste suppose alors que l'électricité se développe dans les muscles comme dans le couple de potasse et d'acide nitrique. Mais cela ne suffit pas pour prouver l'existence du contact musculaire, il faut encore la présence d'un troisième corps conducteur solide pour opérer la recomposition des deux électricités.

Matteucci fait observer, et avec raison, qu'en admettant l'existence des deux liquides dans les muscles, cela n'explique pas la production et la direction constante du courant musculaire de l'intérieur à l'extérieur. J'ai prouvé le contraire.

M. Hermann donne une origine purement chimique au courant musculaire. Les muscles, dit-il, sont entourés partout dans le corps de conducteurs humides, les courants musculaires se combinent constamment dans le corps tout entier. Si l'on applique un arc conducteur en deux places de la surface

du corps, on obtient donc des courants qui sont naturellement très-irréguliers, car ils résultent d'autres courants nombreux et de directions diverses.

Quand le muscle prend l'état rigide, il perd ses propriétés physiologiques, courant musculaire et excitabilité; il se forme un acide que l'on croit être l'acide sarcolactique; il se dégage de l'acide carbonique.

Les expériences de M. Hermann ont eu pour but de montrer que la section extérieure du muscle qui est exposée à l'air et, par suite, à l'action de l'oxygène, est dans un état de décomposition plus active que dans l'intérieur du muscle. Il a mis ce fait en évidence au moyen de l'expérience suivante : on tient d'une main un muscle de grenouille dont une des extrémités plonge dans l'eau salée, puis l'on ferme le circuit dans lequel se trouve un galvanomètre très-sensible, en plaçant l'animal sur les coussins de l'appareil de M. Dubois-Reymond, dont l'une des extrémités plonge dans l'eau salée, et l'autre est en contact avec le muscle hors de l'eau, si celle-ci est chauffée jusqu'à 110 degrés. Il se manifeste aussitôt un fort courant qui va de la partie chauffée à la partie froide du muscle. M. Hermann suppose que la partie chauffée est dans un état de décomposition semblable à celui de la section interne obtenue par la coupure. Il suppose aussi que les parties extérieures des muscles qui sont plus fines, et par cela même plus perméables à l'oxygène de l'air, sont dans un état de décomposition bien plus fort que les parties qui appartiennent au centre du muscle; ce ne sont là encore que des hypothèses.

De nombreuses expériences m'ont démontré que ce courant a une origine chimique; j'ai opéré d'abord

avec un morceau de chair musculaire d'un bœuf récemment tué, intact, puis avec un autre réduit en pâte; on a introduit l'une des deux lames de platine en relation avec un galvanomètre, dans l'intérieur de l'une des deux masses, et l'autre a été appliquée sur la surface qui est plus exposée à l'action de l'air que la partie intérieure. Les deux lames avaient été dépolarisées préalablement avec le plus grand soin, traitées d'abord à chaud par l'acide nitrique, chauffées au rouge, puis plongées dans l'eau distillée et employées quand toute trace de polarisation avait disparu. Les expériences ont été recommencées en changeant de place les lames, après leur avoir fait subir les mêmes préparations pour les dépolariser : on a obtenu constamment un courant de l'intérieur du muscle à la surface qui est positive comme dans les expériences de Matteucci et de M. Dubois-Reymond.

Dans ces expériences, l'organisation du muscle n'est donc entrée pour rien dans la production du phénomène dont l'origine est bien chimique.

Un muscle de la cuisse d'un lapin, nouvellement tué et intact, a été soumis au même mode d'expérimentation; on a eu également un courant, dirigé de l'intérieur à la surface; ce courant avait la même intensité au bout de vingt-quatre heures et même de quarante-huit heures. En introduisant le muscle dans une éprouvette remplie de gaz hydrogène, le même courant s'est manifesté; on en a indiqué précédemment la cause. Ces effets ont été également les mêmes, en opérant dans l'azote et dans le vide barométrique; en continuant l'expérience, il arrive quelquefois un instant où le courant diminue, devient nul, puis se manifeste en sens inverse : ce renversement n'est-il pas dû à la putré-

faction qui rend acide l'intérieur du muscle plus que la surface de l'extérieur? Ce phénomène est analogue à celui qui a lieu quand on expose à l'air du sang dans une soucoupe; la surface reste rouge, et l'intérieur devient noir ou sang veineux ; dans ce cas, la décomposition est plus grande au milieu qu'à la surface.

Dans toutes ces expériences, le courant suit la même direction que le courant musculaire; le premier courant est bien dû à l'action oxydante de l'air : aucun doute ne pourrait être élevé à cet égard, car l'action de l'air est plus forte à la surface du muscle qu'à l'intérieur; or la surface devient promptement acide, et le liquide qui l'humecte réagit sur celui de l'intérieur, qui l'est moins, par l'intermédiaire des tissus qui les séparent; il en résulte alors un courant électrique dirigé comme celui que l'on observe.

Quand la surface du muscle est desséchée, ce qui arrive quelques heures après, quand on expérimente dans un lieu sec et chaud, il y a absence de courant; mais, en humectant légèrement la surface avec l'eau distillée pour la rendre conductrice, le courant reparaît toujours dans la même direction et dure jusqu'à ce que la surface soit desséchée. Le phénomène a donc bien une origine chimique.

Lorsqu'on cherche l'existence du courant musculaire sur un animal vivant, on est forcé de mettre à nu le muscle, qui s'oxyde au contact de l'air; de là, courant de l'intérieur à l'extérieur comme dans l'animal.

Cet effet paraît être dû en partie à l'action de l'air et en partie à l'action de l'oxygène du sang artériel sur les parties constituantes du muscle. Le courant dont il est question est essentiellement distinct des courants électro-capillaires qui

ont également une origine électrique, mais dont la production ne dépend que des parois des pores des membranes, courants auxquels j'attribue la respiration musculaire et la nutrition des tissus.

Dans les expériences qui précèdent, le muscle a été pris à l'état de repos ; quand il est à l'état de contraction, le courant paraît changer de direction parce que l'aiguille aimantée rétrograde vers zéro. Matteucci attribue cet effet à la production d'un courant induit. M. Dubois-Reymond admet qu'au moment de la contraction, le courant est instantanément supprimé, sans donner de preuves à l'appui de cette explication. Mes recherches à cet égard feront l'objet d'une prochaine communication à l'Académie.

Dans les expériences dont je viens de rapporter les résultats, j'ai fait usage de deux lames de platine parfaitement dépolarisées, et non de lames de zinc amalgamé, plongeant dans une dissolution de sulfate de zinc aussi neutre que possible, qui ont l'avantage, à la vérité, en ne se polarisant pas, de conserver la constance dans le courant quand l'action qui le produit est elle-même constante ; mais aussi on a à craindre que la dissolution de zinc, qui agit assez énergiquement sur les muscles, et différemment, suivant les parties qu'elle touche, ne complique les effets électriques observés ; tandis qu'on n'a rien à craindre de semblable avec les lames de platine dépolarisées, sèches ou humectées d'eau distillée. On ne peut observer alors que des effets instantanés ; mais, en laissant le circuit ouvert pendant quelques instants, on recommence l'expérience en obtenant le même résultat.

Au surplus, l'expérience suivante montre l'inconvénient qu'il y aurait à employer, dans les recherches dont il est

question ici, le zinc amalgamé sans des précautions particulières : si l'on pose sur les coussins de l'appareil de M. Dubois-Reymond la surface d'un muscle de bœuf, et que l'on introduise dans l'intérieur l'extrémité de l'autre coussin, on n'a aucun effet ; mais, si l'on enveloppe les deux extrémités de bandes épaisses de papier, humecté d'eau distillée, afin que la dissolution de sulfate de zinc ne touche pas le muscle, on a alors les effets précédemment décrits.

Si l'on veut se rendre compte des effets électriques produits dans le muscle en repos, vivant ou mort, il faut se rappeler sa constitution qui doit servir de base à l'explication des effets électriques produits dans l'un et l'autre cas.

Les muscles sont composés de fibres musculaires primitives entourées d'une enveloppe élastique cellulaire, appelée sarcolemme ; plusieurs fibres réunies ensemble forment un faisceau pourvu également d'une enveloppe nommée *perimysium ;* plusieurs de ces faisceaux forment le muscle, qui est recouvert lui-même de l'aponévrose, membrane élastique. Il y a pénétration continuelle dans le muscle de substance contractile.

Les tendons réunissent les fibres musculaires aux os ; les uns et les autres sont également cellulaires. Les muscles renferment des vaisseaux, de la graisse et des nerfs. Les vaisseaux se ramifient entre les fibres musculaires ; la terminaison capillaire est formée de parois extrêmement fines ; la substance musculaire, quand on en retire le sang, contient un suc donnant la réaction alcaline qui est également celle de la coupe du muscle ; cette réaction devient acide quand le muscle est en décomposition.

L'explication du courant musculaire résulte de cet état de

choses, sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans de nouveaux détails à cet égard. Est-il possible d'expliquer aussi le courant musculaire en faisant intervenir les courants électro-capillaires, avant que la décomposition commence? Je le crois, en s'appuyant sur l'organisation du muscle et les courants électro-capillaires observés; les courants électro-capillaires sont tellement constitués que la surface extérieure de chaque enveloppe, soit du sarcolemme, soit du perimysium, soit de l'aponévrose, est positive, et la surface intérieure négative. Ce fait est démontré. En introduisant une lame de platine dans l'intérieur du muscle et traversant toutes les fibres et leurs enveloppes, et en appliquant une autre lame de platine sur la surface extérieure, on a alors un courant de l'intérieur à l'extérieur, qui est la direction du courant musculaire.

La lame intérieure traverse à la vérité toutes les fibres musculaires et touche par conséquent les surfaces positives et négatives d'un certain nombre de fibres secondaires, tandis que la lame appliquée sur la surface extérieure est positive; la lame intérieure s'emparant de l'électricité négative de l'enveloppe extérieure, on a alors un courant provenant de la décharge du couple extérieur, composé de l'enveloppe et de deux lames de platine. Au surplus je reviendrai sur cette explication dans la seconde partie de ce mémoire.

Les expériences qui précèdent mettent en évidence deux faits importants : le premier montre qu'un os frais respire du moins la matière organique qu'il contient, qu'il se sature d'acide carbonique, que la quantité d'acide qui se forme ensuite se dégage ou plutôt rentre dans les capillaires, est entraînée par le sang veineux dans sa circulation. Les parois des

cavités osseuses doivent servir à établir les courants électro-capillaires résultant de l'électricité dégagée dans la réaction du gaz oxygène absorbé sur les matières organiques qui se trouvent dans les cavités. Je reviendrai également sur le courant osseux dans la seconde partie de ce mémoire.

§ III. — *Nouvelle théorie électro-capillaire de la respiration musculaire.*

J'arrive maintenant aux rôles que peuvent jouer les forces électro-capillaires dans les phénomènes de nutrition des tissus, ainsi que dans la digestion; mais il faut, avant tout, se reporter aux notions que nous avons données sur l'organisation des divers tissus, la composition du sang, ses propriétés physiques, son mouvement circulatoire, et se rappeler les propriétés physiques et chimiques des courants électro-capillaires, en vertu desquelles ces courants agissent pour transporter les substances solides et liquides et décomposer ces derniers. Ces propriétés se manifestent toutes les fois que deux liquides différents sont séparés par un tissu capillaire qui n'est pas désorganisé par les deux liquides ou par l'un d'eux; car, lorsque cet effet a lieu, la porosité est détruite en partie ou en totalité, et les propriétés dont il est question cessent peu à peu et finissent par disparaître.

Il faut, au préalable, pour les étudier, chercher la force électro-motrice produite au contact du sang artériel et du sang veineux, et de chacune de ces espèces de sang au contact des sérosités adjacentes, dont elles sont séparées par les tissus des vaisseaux. Le sang artériel n'est pas directement

en contact avec le sang veineux, puisque l'un et l'autre sont séparés par des capillaires renfermant du sang qui devient de plus en plus veineux en s'éloignant du cœur ; d'un autre côté, une foule d'autres tissus étant interposés entre les artères et les veines, il doit donc se produire les mêmes effets que dans un tube de verre fermé par un tampon de papier ou de sable très-fin humide, sur une hauteur de 2 ou 3 centimètres, et rempli d'une dissolution métallique de cuivre, par exemple, lequel plonge dans une éprouvette contenant une dissolution de monosulfure de sodium ; les deux dissolutions, quoique éloignées l'une de l'autre, réagissent, chacune, sur le liquide ambiant, par l'intermédiaire des espaces capillaires qui existent dans les grains de sable; il en résulte alors assez promptement une réduction métallique, comme celle qui a lieu dans les tubes capillaires.

Il y a encore une autre manière de former un couple sans l'intermédiaire du métal en disposant l'appareil, comme il a été décrit dans le *Traité d'électricité et de magnétisme*, de MM. Becquerel et Ed. Becquerel (t. II, p. 69). Cet appareil se compose de deux vases remplis, l'un d'acide nitrique, l'autre d'une dissolution concentrée de potasse caustique, et communiquant au moyen d'un tube de verre recourbé, rempli de kaolin humecté avec une dissolution de sel marin ; l'acide se mêle peu à peu avec le kaolin qui se trouve dans la branche correspondante du tube; il en est de même du côté de la dissolution alcaline. En donnant une certaine longueur au tube, le brisant au milieu, les deux parties séparées peuvent servir d'électrodes ; le bout en relation avec le vase où se trouve l'acide est le pôle +, l'autre le pôle —. Avec cet appareil, on opère également des dé-

compositions chimiques, la réduction du nitrate d'argent, par exemple.

On a vu précédemment que la force électro-motrice des deux sangs était égale à 0,57, celle du couple à acide nitrique étant 100 et celle de la sérosité des muscles en contact avec le sang étant représentée par 0,3 rapportée à celle du couple acide nitrique. Cette dernière valeur est au-dessous de la véritable, à cause de la résistance qu'opposait au courant électrique la masse des tissus interposée entre les aiguilles de platine en contact avec les deux liquides. Cela posé, il résulte des effets électriques produits par l'intermédiaire des enveloppes des tissus élémentaires qui séparent le sang des sérosités des muscles, une suite innombrable de courants électro-capillaires, puisqu'il y a autant de courants qu'il y a de pores dans les tissus, et que le nombre de ces pores est incalculable. Ces courants ont une telle direction que la paroi des capillaires en contact avec le sang artériel est le pôle négatif du couple électro-capillaire, et la paroi opposée le pôle positif.

Quelles sont les actions électro-chimiques résultant du fonctionnement de ces innombrables couples électro-capil laires? La réponse à cette question est facile, d'après le mode d'action de ces couples. Le sang, comme on l'a dit précédemment, est composé de deux parties distinctes : une partie liquide, qui est le plasma composé de matières albuminoïdes grasses et sucrées, et de matières extractives combinées avec des acides organiques et de la soude libre; la partie solide est formée de très-petits globules rouges ou blancs; mais ceux-ci sont beaucoup moins abondants que les premiers. Ces globules, d'après l'opinion générale,

ont une constitution homogène sans enveloppe; ils sont formés d'albumine, de fibrine, et d'une matière colorante appelée hématosine; en outre, ils sont insolubles dans le sérum du sang. Dans le sang artériel, l'oxygène est fixé dans l'hématosine, suivant l'opinion des physiologistes, par une affinité capillaire, ce qui lui donne une couleur rouge vermeille, laquelle devient brune quand il le perd en prenant du gaz acide carbonique en échange, c'est-à-dire pendant la transformation du sang artériel en sang veineux : effet du même genre que celui qui a été signalé par M. Chevreul, lorsque l'on plonge dans de l'huile de lin de la céruse imbibée d'eau ; par suite d'une attraction élective, l'huile chasse l'eau et prend sa place. Il en est de même de l'eau à l'égard du kaolin imbibé d'huile en présence de l'eau, qui chasse l'huile pour prendre sa place. Les courants électro-capillaires, d'après leur direction, agissent de telle sorte que les éléments électro-positifs du sang, c'est-à-dire les bases, ainsi que les globules privés de leur oxygène, sont déposés par le courant sur la paroi intérieure des capillaires qui est négative, tandis que les éléments électro-négatifs, comme l'oxygène de l'hématosine, et les acides organiques, se déposent sur la paroi extérieure qui est positive. Ce gaz, une fois libre et à l'état naissant, concurremment avec les acides, réagit sur les composés hydro-carbonés qui entrent dans la composition des liquides humectant les muscles, lesquels sont également soumis à l'action des courants électro-capillaires. De semblables effets doivent être produits dans toutes les parties de l'organisme où il existe des capillaires ; le gaz acide carbonique, résultant de la réaction de l'oxygène sur les matières hydro-carbonées, ainsi que les composés solubles formés qui

ne servent pas à la nutrition des tissus, et que l'on peut considérer comme des résidus, rentrent dans les capillaires par l'action des courants électro-capillaires agissant comme forces mécaniques, puis sont emportés par le sang dans son mouvement circulatoire où, après avoir subi diverses élaborations, ils sortent de l'organisme, soit par les poumons avec le gaz acide carbonique, où s'opère la transformation du sang veineux en sang artériel, soit par d'autres voies.

Il est de toute impossibilité, nous le répétons, de faire connaître tous les composés résultant de l'action électro-chimique que l'on vient d'indiquer; on se borne à décrire les forces physico-chimiques qui agissent, concurremment avec les affinités, dans toutes les réactions chimiques de l'organisme où intervient l'action nerveuse.

Voyons maintenant le mode d'action des forces électro-capillaires dans les phénomènes de nutrition des muscles.

Un muscle, comme on l'a vu précédemment, est formé de trois parties principales: 1° de fibrilles primitives enveloppées d'un sarcolemme ou fourreau non organisé, et formant une fibre secondaire; une réunion de fibres secondaires constitue un muscle; entre les fibres secondaires circulent les capillaires avec leurs anastomoses; à la surface du sarcolemme s'épanouissent les nerfs dont nous avons parlé en exposant l'état de nos connaissances sur l'irritabilité nerveuse.

Les fibrilles primitives sont évidemment le siége d'innombrables courants électro-capillaires par l'intermédiaire desquels s'opère la nutrition des fibrilles elles-mêmes et des tissus qui les recouvrent; aucune partie du muscle, d'après son organisation, n'échappe à leur action; ces courants

sont dirigés de l'intérieur des capillaires à l'extérieur et s'étendent jusque sur le sarcolemme.

Ce n'est pas tout. Les parois des pores des tissus, qui ne sont autres que les électrodes des couples électro-capillaires, sont elles-mêmes soumises aux actions électro-chimiques; toutes les parties des fibres secondaires, comme les fibres primitives, sont donc sans cesse soumises à des effets de décomposition et de recomposition ; les principes élémentaires des organes sont sans cesse renouvelés; toutes ces réactions sont la conséquence de la respiration musculaire.

La théorie que nous venons d'exposer des phénomènes de nutrition des tissus repose sur des faits incontestables, et explique les rapports qui existent entre tous les phénomènes de nutrition de l'organisme. On ne saurait donc douter de l'intervention des forces électro-capillaires dans la production de ces phénomènes.

D'après l'expérience dont on a rapporté précédemment le résultat (p. 833), on a vu qu'une dissolution d'albumine dans l'eau séparée par une membrane à tissu poreux d'un liquide, tel que l'eau, si l'on fait passer dans ces deux liquides au moyen de deux lames de platine un courant provenant d'une pile à sulfate de cuivre composée de quelques éléments seulement, de telle sorte que l'électrode positive plonge dans la dissolution d'albumine et l'électrode négative dans l'eau; dans ce cas, il y a transport de l'eau de la case positive à la case négative, mais l'albumine ne traverse pas la cloison, de même que dans l'expérience de la dialyse de M. Graham.

Or, d'après la théorie que nous avons donnée de la respiration musculaire et de la nutrition des tissus, on a vu qu'il existe des courants électro-capillaires non-seulement entre

le sang et la sérosité qui humecte les muscles par l'intermédiaire des tissus des capillaires, mais encore entre le liquide des fibrilles primitives et celui qui se trouve entre les fibres secondaires. Il faut donc, d'après l'expérience que nous venons de rapporter, que l'albumine qui se trouve dans le liquide du muscle ne passe pas dans le sang et qu'il y reste pour concourir à la formation des composés albuminoïdes, en se rappelant toutefois que le courant va de la sérosité au sang.

Revenons à la respiration musculaire, dont l'existence est généralement admise aujourd'hui et à laquelle Matteucci rapporte les effets électriques qui se manifestent dans la contraction musculaire. Voici comment il a disposé les cuisses d'une grenouille pour en former une pile et mettre en évidence le courant musculaire : lorsqu'on pose sur la surface intérieure du muscle crural d'une grenouille la surface extérieure d'un autre muscle, ainsi de suite, si l'on ferme le circuit au moyen de deux lames de platine en rapport avec un galvanomètre à fil long, on constate aussitôt la production d'un courant électrique résultant de la pile formée de cuisses de grenouille. La direction du courant est de l'intérieur à l'extérieur des cuisses, c'est-à-dire que l'intérieur prend l'électricité négative, et l'extérieur l'électricité positive.

M. Matteucci, auquel est due cette expérience importante, a émis l'opinion que le courant avait une origine chimique, et qu'il provenait de la respiration du muscle, laquelle n'est point interrompue dans l'animal vivant, lorsque le muscle est à l'état de repos.

On a vu précédemment que l'effet électrique observé pouvait être expliqué, en admettant que la section transversale du muscle, étant dénudée, est plus attaquée que la surface re-

couverte de son aponévrose ; par conséquent la section doit être positive, parce qu'elle est recouverte de gaz acide carbonique ou d'un acide organique, et l'intérieur négatif. Le courant aurait encore lieu si la surface était à l'état neutre, puisque la réaction du liquide qui l'humecte sur celui de l'intérieur qui est alcalin rend la surface positive.

Chaque muscle est un électro-moteur dans le sens que j'indique, en y comprenant bien entendu l'aponévrose qui, tout en concourant à la conservation du muscle, est parcourue également par des courants électro-capillaires.

Dans les expériences faites avec le gaz hydrogène très-pur, la combustion a eu lieu aux dépens de l'oxygène du muscle qui se brûle lui-même en quelque sorte, comme cela arrive à un animal privé de nourriture, qui vit pendant quelque temps aux dépens de sa propre substance. Les expériences, dont nous avons rapporté les résultats (p. 851 et suiv.), faites avec de petites masses musculaires intactes et en pâte très-fine, montrent bien que la combustion des substances hydro-carbonées qui se trouvent dans le muscle et principalement dans les parties les plus exposées au contact de l'air est analogue à la respiration musculaire. Les courants électro-capillaires produits dans les mêmes circonstances sur le corps mort, comme sur le corps vivant, viennent à l'appui de l'opinion émise par Matteucci. Si l'on réfléchit aux principes sur lesquels repose la théorie électro-capillaire de la nutrition, on ne tarde pas à voir que les cellules, les utricules, les globules, les principes élémentaires enfin des animaux et des végétaux, formés d'une enveloppe à pores capillaires et remplis d'un liquide qui est conducteur de l'électricité, comme tous les liquides de l'organisme le sont,

d'après les expériences qui ont été faites à ce sujet, que ces parties élementaires sont entourées de sucs, de liquides qui forment avec les enveloppes des couples électro-capillaires en nombre incalculable, donnant lieu dans le même tissu à des courants qui agissent sans interruption pendant la vie et quelque temps après la mort tant que les tissus ne sont pas désorganisés.

Les courants électro-capillaires existent donc non-seulement, mais encore entre les organes complets, entre leurs parties les plus élémentaires. Ces courants entretiennent la vie dans toutes les parties de l'organisme; il ne faut pas toutefois les considérer comme forces primitives de l'organisme, c'est-à-dire concourant à leur formation, car elles n'agissent que lorsque la vie commence: ce sont des effets, nous le répétons, qui deviennent causes déterminantes des phénomènes de nutrition aussitôt que le corps est formé.

Les courants électro-capillaires manifestent aussi leur action entre des organes séparés par une foule de tissus conducteurs de l'électicité; en effet, la peau sécrète sur toute sa surface une sécrétion acide, et le tissu cellulaire ou membrane interne, un liquide alcalin, excepté dans l'estomac, comme on l'a démontré à l'aide de lames de platine en communication d'une part avec un galvanomètre, de l'autre avec les organes.

Les tissus intermédiaires entre la peau et la muqueuse, qui tapissent le tube intestinal, doivent servir, indépendamment de leurs courants partiels, aux réactions qui ont lieu pour produire des courants entre la peau et la muqueuse.

On voit donc que les corps vivants sont soumis à l'action de forces physico-chimiques qui enlèvent sans cesse aux tis-

sus des éléments et leur en restituent d'autres ; ils détruisent donc d'un côté, et reconstruisent de l'autre. Tous ces phénomènes cessent avec la vie, attendu que les tissus, perdant leur contractilité, se relâchent, les pores s'agrandissent, les forces physiques disparaissent, et, les forces chimiques dominant seules, la destruction arrive.

Les corps organisés, sous l'empire de la vie, ne peuvent donc exister que par le concours des forces physico-chimiques dont on exposera avec de grands développements toutes les propriétés dans un ouvrage spécial.

Il faut prévoir une objection qu'on peut faire à la théorie électro-capillaire appliquée aux phénomènes de nutrition. Le sang se coagule au pôle positif quand on le soumet à l'action d'un courant; pourquoi n'en est-il pas de même sous l'influence de l'action électro-capillaire dans les capillaires? Il existe, sans doute, une cause incessante qui empêche le sang de se coaguler dans les vaisseaux.

Or, la paroi intérieure du vaisseau sanguin étant le pôle négatif du couple électro-capillaire, et la paroi extérieure le pôle positif, les éléments électro-négatifs, aussitôt qu'ils sont déposés sur la paroi positive, réagissent sur les éléments hydro-carbonés, réaction à laquelle participe probablement l'albumine, qui ne paraît pas rentrer dans les capillaires. En outre, la coagulation ayant lieu ordinairement au pôle positif à cause de l'acide qui est déposé, l'acide est aussitôt neutralisé par l'alcali du muscle. Il y a encore une autre objection : quelle preuve a-t-on que le courant électro-capillaire produit dans la réaction du sang artériel sur le liquide des muscles possède la force nécessaire pour enlever aux globules du sang l'oxygène qui s'y trouve fixé, suivant

toutes les apparences, par affinité capillaire? La réponse est facile.

1° L'affinité de l'oxygène par les globules est très-faible, puisqu'elle est détruite dans le vide à une température de 40 degrés.

2° Les courants électro-capillaires, quoique produits par les couples simples, ont une plus grande énergie que les courants produits par plusieurs des couples à sulfate de cuivre et même à acide nitrique, comme nous l'avons démontré; ainsi rien ne s'oppose à ce que la décomposition s'effectue.

Il résulte des faits exposés dans ce mémoire et qui servent de bases à la nouvelle théorie de nutrition, que tous les organes, dans les corps vivants, ainsi que leurs parties les plus élémentaires, sont parcourus, sans aucune interruption, par des courants électro-capillaires d'une certaine énergie, dans des directions perpendiculaires à celles des vaisseaux capillaires et qui doivent y produire dans les muscles et les nerfs une irritation continuelle. Ne serait-ce pas là une des causes qui mettent en jeu l'irritabilité des organes indispensable aux phénomènes de la vie?

Il ne faut pas toutefois considérer les courants électro-capillaires comme les forces primitives des corps vivants, car ils n'agissent que lorsque ces corps sont créés, leurs organes formés ; ce sont des effets qui deviennent causes de la respiration des tissus. Ces phénomènes, nous le répétons, cessent avec la vie quand les tissus ont perdu leur contractilité; les pores finissent par s'élargir ; tous les éléments organiques sont alors livrés à l'action des forces chimiques, qui finissent par détruire toutes traces d'organisation.

HUITIÈME MÉMOIRE

SUR LES

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES.

DEUXIÈME PARTIE.

DE LA CAUSE DES COURANTS MUSCULAIRES, NERVEUX, OSSEUX ET AUTRES.

INTRODUCTION.

Galvani, Nobili, Matteucci, M. Dubois-Reymond et autres physiologistes ou physiciens éminents, ont cherché à jeter les bases de l'électro-physiologie, en partant de ce fait qu'il se dégage de l'électricité, produisant des effets physiologiques, quand les muscles et les nerfs forment des circuits fermés soit avec un arc métallique, soit en mettant en contact le muscle avec le nerf correspondant. On pensait qu'il devait en être de même dans les corps vivants. Plusieurs théories ont été mises en avant à cet effet, mais je ne m'attacherai, dans ce mémoire, qu'à la théorie électrotonique, dont les bases ne paraissent pas fondées en principe, puisqu'elle suppose que

les muscles et les nerfs sont des piles et leurs molécules organiques douées de la polarité électrique, piles auxquelles on rapporte les fonctions musculaires et nerveuses. Je me propose de montrer, dans ce mémoire, que les effets électriques observés dans les tissus ont une origine chimique, et qu'ils ne peuvent produire dans les corps vivants, suivant toutes probabilités, que des courants électro-capillaires, n'exigeant pour leur production, comme on l'a vu dans la première partie de ce mémoire, que la présence de deux liquides différents, séparés par une membrane, un tissu à pores capillaires; les deux liquides, par leur réaction réciproque, donnent lieu à un dégagement d'électricité et, par suite, des courants électriques par l'intermédiaire des parois des interstices capillaires, lesquelles parois paraissent se comporter comme des corps solides, conducteurs de l'électricité, condition indispensable pour qu'il y ait courant électrique.

Je ne m'occuperai de la cause des courants musculaires, nerveux et osseux, que sous le point de vue physico-chimique, en me bornant seulement à indiquer les phénomènes physiologiques qui en sont la conséquence, sans entrer dans aucun développement à cet égard. En un mot, je me suis attaché à rechercher les forces physico-chimiques qui agissent dans l'organisme, à les mesurer et à indiquer les effets généraux qu'elles produisent, sans m'arrêter à des hypothèses qui ne reposent pas sur des bases incontestables.

Je ne parlerai donc de l'irritabilité des nerfs et de l'excitabilité des muscles que sous le rapport de l'influence qu'exercent les forces électro-chimiques sur ces principaux tissus et nullement de leur influence sur les phénomènes de la vie dont l'étude est du ressort de la physiologie.

Les muscles et les nerfs ne doivent pas être considérés comme des piles composées d'éléments organiques ayant des électricités propres et qui interviennent dans les fonctions musculaires et nerveuses, attendu que l'électricité fournie par ces tissus à l'état de repos et à l'état de mouvement paraît avoir une origine chimique, comme je l'ai déjà avancé dans la première partie de ce mémoire, et comme j'en fournirai encore de nouvelles preuves dans la deuxième partie.

Matteucci et d'autres physiciens ont considéré avec raison cette hypothèse comme inadmissible en physique, et cependant on en a fait la base de la théorie électro-tonique, à l'aide de laquelle on a cherché à expliquer les faits intéressants dont la physiologie s'est enrichie depuis déjà un certain nombre d'années.

L'idée d'attribuer une origine électrique propre aux molécules des corps dans la nature inorganique, pour expliquer les actions chimiques, est déjà ancienne; les objections qu'elle a soulevées s'appliquent également aux corps organisés.

Je vais entrer dans quelques détails à cet égard, vu l'importance du sujet.

Quelle est la cause qui attire et tient unies les particules des corps, les unes aux autres, dans les combinaisons? C'est là une des grandes questions de philosophie dont on cherche la solution depuis longtemps sans l'avoir obtenue. Cette cause est-elle électrique ou thermique, ou bien est-elle d'une nature inconnue? Davy, Berzélius, Ampère, avec des vues différentes, n'ont pas hésité à se prononcer en faveur de l'origine électrique. Voyons quel a été le point de départ de leurs opinions. Je passe sous silence les idées émises à cet

égard par Franklin, l'abbé Nollet et autres physiciens qui n'avaient encore que des vues systématiques très-vagues jusqu'à l'immortelle découverte de Volta.

OErsted, en 1799 et 1800 (*Recherches sur l'identité des forces chimiques et physiques,* ouvrage traduit de l'allemand par Marcel de Serres), a déduit comme conséquence de sa théorie que les affinités, la chaleur, la lumière et le magnétisme étaient dus à des actions électriques. Ces vues théoriques, quelques années après, le conduisirent à l'importante découverte de l'action d'un courant électrique sur l'aiguille aimantée.

Vers 1800, on découvrit que l'eau et les dissolutions salines étaient décomposées au moyen de la pile; mais la science en était arrivée à ce point que l'on ne savait quelle théorie adopter pour expliquer les phénomènes de chaleur et de lumière produits avec la pile, et dans les décharges des batteries électriques.

Biot (1) avait annoncé que la production de la chaleur dans les décharges électriques était due au passage rapide de l'électricité au travers de l'air qui, étant fortement comprimé, s'échauffait et dégageait alors assez de chaleur pour qu'il y eût émission de lumière. Cette explication est restée dans la science.

Davy reprit cette question pour savoir jusqu'à quel point cette opinion était fondée; il disposa un appareil dans lequel il faisait le vide à volonté sur le mercure, sur d'autres métaux en fusion ou diverses dissolutions, et y opérait la décharge

(1) *Annales de chimie*, t. LIII, p. 351, trans., v. XXXV, p. 188.

d'une bouteille de Leyde ou d'une batterie (1). Des résultats obtenus il tira les conséquences suivantes :

La lumière électrique dépend principalement de quelques propriétés qui appartiennent à la matière pondérable à travers laquelle passe l'életricité ou qu'elle entraîne avec elle; l'espace où il n'y a pas de quantité appréciable de cette matière est capable d'offrir les phénomènes lumineux, dus probablement aux particules superficielles des corps entraînées par les décharges électriques et qui, devenant incandescentes, produisent les apparences lumineuses observées. Cette opinion à laquelle se rattachait celle de Biot a été une des bases de la théorie électro-chimique adoptée par Berzélius, qui pensait également que la chaleur était produite dans les combinaisons chimiques de la même manière que dans les décharges électriques.

Les effets calorifiques dont nous venons de parler n'étaient rien, comparés à ceux que Davy obtint en 1813 avec la pile de l'Institution royale de Londres, composée de deux mille couples représentant une surface de 128,000 pouces carrés anglais. Ayant fait passer à peu de distance l'une de l'autre, dans le vide, la décharge de cette énorme pile, il produisit une lumière dont l'éclat était comparable à celui du soleil. Davy tira la conséquence de cette belle expérience que la chaleur et la lumière produites devaient être attribués réellement à la réunion des deux électricités; les particules de charbon enlevées par l'action de l'électricité et transportées du pôle positif au pôle négatif constituaient le conducteur

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XX, p. 168.

servant à la circulation du courant électrique. Ces conséquences paraissaient assez concluantes; mais Davy ne tenait pas compte du mouvement excessivement rapide imprimé aux particules du charbon enlevées par le courant, lequel leur imprimait une vitesse excessive, capable de les rendre incandescentes. Cette vive lumière pouvait donc provenir du travail des parcelles de charbon sous l'influence du courant qui en était l'agent.

Ces expériences précédèrent celles que fit Davy pour essayer de prouver que l'affinité avait également une origine électrique.

Il commença par rechercher (1), au moyen d'instruments très-délicats, l'état électrique d'une solution alcaline simple, isolée, après son contact avec les métaux; mais les résultats furent nuls, les appareils qu'il employait n'ayant pas la sensibilité requise pour mettre en évidence l'électricité dégagée dans les actions chimiques; Davy, comme on va le voir, ne s'était pas mis non plus dans les conditions voulues pour observer le dégagement d'électricité, tant il était imbu de la théorie du contact comme tous les physiciens et les chimistes de l'époque. Il commença par expérimenter avec des substances acides et alcalines qui peuvent exister sous la forme solide et sèche; les acides oxalique, succinique, benzoïque; etc., parfaitement secs, soit en poudre, soit en cristaux, dans leur contact avec le cuivre prirent l'électricité négative et le métal l'électricité positive; l'acide phosphorique, à l'état solide, qui avait été fortement

---

(1) *Phil. trans.*, t. XX, c. I, p. 397.

chauffé et conservé avec soin hors du contact de l'air, rendit positif un plateau de zinc isolé.

Lorsqu'il mit des disques métalliques en contact avec la chaux sèche, la strontiane ou la magnésie, le métal devint négatif. La potasse ne donna, dans aucun cas, un résultat satisfaisant; il en attribua la cause à la forte attraction pour l'eau. A l'aide de ces résultats, il en tira les conséquences suivantes :

« Les substances qui se combinent chimiquement, toutes « celles dont l'énergie électrique est bien connue, présentent « des états électriques opposés; ainsi le cuivre et le zinc, l'or, « le mercure, le soufre et les métaux et les substances acides « et alcalines donnent des exemples conformes à ce prin- « cipe.

« En supposant donc une liberté parfaite dans le mou- « vement de leurs particules, elles doivent s'attirer l'une « l'autre, en vertu de leurs pouvoirs électriques; et si ces « pouvoirs sont assez exaltés pour leur donner une force at- « tractive supérieure au pouvoir de l'agrégation, il se for- « mera une combinaison, en même temps qu'il se produira « de la chaleur et de la lumière par la réunion des deux élec- « tricités. »

Cette théorie repose sur des faits qui n'ont pas l'origine que Davy leur supposait (1). Il s'est appuyé sur les effets électriques du contact obtenus avec le cuivre et les acides oxalique, succinique, etc., bien secs. Or ces effets n'existent pas quand il y a un simple contact, attendu que les acides solides et

---

(1) *Traité de l'électricité et du magnétisme,* t. V, IIe partie, p. 5.

secs n'étant pas conducteurs de l'électricité ne dégagent point d'électricité dans leur contact ; les faits observés provenaient, comme nous l'avons démontré, du frottement de ces acides sur le métal, à l'instant où il les posait l'un sur l'autre ou les retirait.

Suivant cette théorie, tous les signes d'électricité cessant aussitôt que l'action chimique commençait et produisant de la chaleur, on ne voyait pas la cause en vertu de laquelle les atomes restaient unis dans les combinaisons ; d'un autre côté, la théorie du contact ayant été renversée, celle de Davy ne fut plus admise. Berzélius, sans discuter la valeur des bases de la théorie de Davy, et n'ayant fait aucune expérience à cet égard, chercha à expliquer comment il pouvait se faire que cette union eût lieu. Il supposa que les atomes possédaient une certaine polarité électrique et une différence d'intensité dans l'action de chaque pôle ; dans cette hypothèse, les corps seraient électro-positifs ou électro-négatifs dans les combinaisons, selon que l'un ou l'autre pôle prédominerait. Comment l'électricité se trouve-t-elle dans les corps, comment un corps est-il électro-positif ou électro-négatif, ou tantôt l'un et tantôt l'autre? Telles sont les questions qu'il s'est adressées, et qu'il a essayé de résoudre en assimilant les atomes à des tourmalines, sous le rapport de la polarité électrique, et en faisant dépendre la polarité de la température qui accroît son intensité et dont les modifications lui font subir différents changements. Il a admis encore qu'une combinaison ne peut s'effectuer qu'autant que les particules polarisées de l'un des deux corps ou des deux corps se meuvent avec assez de liberté pour qu'elles tournent leurs pôles opposés, ce qui exige que l'un des corps au moins soit à l'état liquide, condition

indispensable pour qu'une combinaison puisse s'effectuer. On verra plus loin que l'on a fait revivre cette théorie pour expliquer l'état électrique des muscles à l'état de repos, et sans plus de succès.

Berzélius, en parlant de la force de cohésion, se borne à dire qu'il est probable que les atomes conservent dans leur combinaison un certain degré de polarité et cherchent à se joindre par leurs pôles opposés. Il ne s'est pas dissimulé toutefois les difficultés que l'on éprouve, en s'appuyant sur la théorie électro-chimique, à expliquer l'inégalité de cohésion dans les différents corps ou dans le même corps, suivant diverses circonstances, ainsi que la dureté, la ductilité, la ténacité et même l'état gazeux. Il avoue qu'il ne voit pas comment on pourrait expliquer tous ces effets, en considérant l'électricité comme cause première et universelle.

L'assimilation des atomes des corps à des tourmalines n'est pas justifiée par l'expérience : en effet; les tourmalines ne deviennent électriques que lorsqu'on abaisse ou qu'on élève leur température jusqu'à 150°; au delà elles cessent de l'être pendant la dilatation et la contraction. Quand la température est stationnaire, il n'y a aucun effet de produit. Il résulterait de cela, contrairement à la théorie de Berzélius, que des atomes hétérogènes n'exerceraient aucune action les uns sur les autres, quand leur température serait constante et lorsqu'elle serait ascendante ou descendante au-delà de 150°.

Berzélius, malgré les objections que l'on avait faites à sa théorie électro-chimique et à celle du contact, n'a abandonné ni l'une ni l'autre. Voici en quels termes en effet il s'exprime

sur la polarité électrique dans la dernière édition de son *Traité de chimie* (1) :

« La polarité consiste en ce que les dynamides (la chaleur,
« la lumière, l'électricité et le magnétisme), séparés, s'accu-
« mulent dans un corps à deux points opposés que nous ap-
« pelons pôles; ces deux points peuvent être des points plus
« ou moins grands, suivant la forme du corps et la disposi-
« tion que la polarisation y a prise, etc., etc. »

Je m'arrête dans la citation, car il est bien difficile d'admettre *à priori* que les quatre dynamides ou agents impondérants soient condensés plus ou moins en deux points différents dans chaque atome, alors que tous les faits observés jusqu'ici tendent à montrer que ces quatre agents sont probablement le résultat d'une action mécanique, d'une oscillation d'un principe éthéré répandu dans tous les corps; il aurait été peut-être plus rationnel d'admettre que le principe éthéré est plus condensé en certains points des atomes que dans d'autres. Cette théorie n'explique pas, je le répète, pour quoi les atomes restent unis les uns aux autres dans les combinaisons; toute la question est là, quand on veut remonter à la cause première de l'affinité.

Ampère essaya de lever cette difficulté, après que nous eûmes trouvé les lois du dégagement d'électricité dans les actions chimiques. Dans une lettre qu'il adressa d'abord à M. Vanbeck (2), il admet que les atomes des corps pos-

(1) *Traité de chimie*, t. I, p. 72.
(2) *Journal de physique*, 1821.

sèdent, chacun, une électricité propre qu'ils ne peuvent perdre sans cesse d'exister, et en vertu de laquelle ils restent unis dans leurs combinaisons; mais, comme des corpuscules électrisés ne pourraient rester dans cet état sans exercer d'action sur les corps environnants, tel que l'air ou autres, Ampère suppose que leur électricité réagit sur celle de ces corps, attire celle de nom contraire et repousse l'autre de manière à transformer les atomes en de véritables bouteilles de Leyde. Une combinaison a-t-elle lieu entre un corps électro-positif et un corps électro-négatif : les atomes se débarrassent de leurs atmosphères en produisant de la chaleur et restent unis les uns aux autres, en vertu de l'attraction de leurs électricités contraires qu'ils ne sauraient perdre. Les atomes sortent-ils d'une combinaison : comme ils ne peuvent se passer d'atmosphère, ils réagissent sur l'électricité naturelle des corps ambiants, attirent celle de nom contraire et repoussent l'autre, de manière à produire des phénomènes électriques inverses de ceux qui ont lieu dans les combinaisons.

Cette théorie, quoique très-ingénieuse, présente des difficultés qui n'ont pas été résolues; elle n'explique pas, par exemple, comment deux corps qui sont électro-positifs ou électro-négatifs peuvent se combiner ensemble; il faudrait alors admettre qu'il n'existe qu'un seul fluide ou que les atomes possèdent de l'électricité naturelle, indépendamment de leur électricité propre; il se produirait alors un effet semblable à celui qui a lieu quand deux corps électrisés de la même manière, mais dont un l'est faiblement, sont en présence l'un de l'autre. Dans ce cas, les répulsions se changeraient en attraction; il faudrait donc admettre que

les atomes, outre leur électricité propre, posséderaient encore de l'électricité naturelle. Une autre objection fut faite à cette théorie : Les électricités des atomes étant dissimulées par des atmosphères d'électricité contraire, ces atomes, une fois en présence, se trouveraient dans les mêmes conditions que deux bouteilles de Leyde chargées inversement dont on mettrait seulement en contact les surfaces extérieures ; dans ce cas, il n'y aurait pas de décharge ; ainsi deux atomes, l'un acide, l'autre alcalin, pourvus de leurs atmosphères, ne pourraient pas réagir l'un sur l'autre, en vertu de leur électricité propre qui serait dissimulée. Cette théorie fut abandonnée comme les précédentes.

Dans ces diverses théories, on considérait néanmoins la chaleur comme un effet résultant de la recomposition des deux électricités, à l'instant où elles deviennent libres.

Des chimistes aujourd'hui cherchent à donner une autre origine à l'affinité et à la chaleur dégagée quand cette affinité exerce son action ; ils veulent faire dépendre la chaleur produite dans l'action chimique de la transformation d'un travail incessant auquel sont soumises les dernières particules des corps en un autre, d'où résulte une combinaison ; quand la combinaison cesse, les particules sont soumises à leur travail primitif; mais je n'ai point à m'occuper, ici, de cette nouvelle théorie.

On voit, d'après ce qui précède, que les physiciens et les chimistes les plus éminents de la première moitié du siècle ont considéré l'affinité comme ayant une origine électrique et la chaleur comme un effet résultant de la recomposition des deux électricités dégagées; et que les tentatives faites jusqu'ici pour expliquer les actions chimiques, en supposant

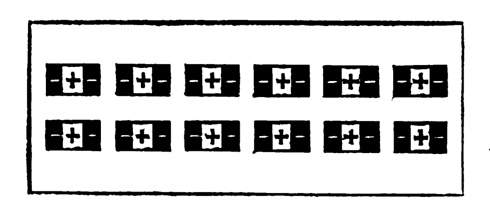
que les atomes des corps ainsi que les molécules sont électriques, ont échoué, par cela même que cette hypothèse n'est pas admissible; elle ne l'est pas également à l'égard des molécules des corps organisés, comme on va le voir.

On considère les molécules organiques des muscles et des nerfs comme ayant une forme cylindrique, dont la surface est positive et les extrémités négatives. Dans l'hypothèse de Berzélius, les deux pôles se trouvent aux extrémités d'un axe, tandis que dans l'autre ce sont les surfaces, ce qui a quelque analogie; en outre, tous les cylindres se trouvent dans un liquide conducteur indifférent. Mais il ne suffit pas de mettre en avant une hypothèse pour expliquer des faits, il faut encore qu'elle ne soit pas en désaccord avec les principes de la physique; c'est là la première condition à remplir. J'admets un instant la polarité électrique des molécules organiques; il serait indispensable que les molécules, avant de se réunir pour former un tissu, fussent pourvues d'atmosphères d'électricité contraire aux dépens des milieux ambiants, mais alors on retomberait dans les inconvénients que présente la théorie d'Ampère.

Cela posé, M. Dubois-Reymond, auquel est due cette théorie, a constitué comme il suit le muscle pour qu'il soit un électro-moteur complet : Les électricités de même nom de deux surfaces tournées l'une vers l'autre se détruisent réciproquement; il en résulte que l'électricité négative des surfaces des bases appliquées librement à la section transversale du muscle, et l'électricité positive des surfaces librement adossées à la section longitudinale, entrent seules en action.

La figure suivante indique la disposition adoptée pour

la constitution du muscle, considérée comme électro-moteur.



Cette disposition ne saurait être adoptée, par les raisons suivantes :

1° Lorsque l'on partage en deux une pile voltaïque, les parties séparées possèdent une électricité contraire, tandis que, dans la pile musculaire, quand on la coupe en deux les sections en regard possèdent la même électricité, qui est toujours négative, excepté dans les cas que j'indiquerai plus loin.

2° Deux surfaces polaires en présence, chargées de la même électricité, ne se neutralisent jamais ; elles tendent sans cesse à se repousser et à s'opposer par conséquent à la force organisatrice.

M. Matteucci avait toujours exprimé la même opinion, notamment dans une conférence qu'il fit à Florence, peu de temps avant sa mort.

Voici en quels termes il s'exprime dans le compte rendu de cette séance, sur la cause de l'électricité musculaire :

« En s'arrêtant aux études histologiques les plus récentes,
« un morceau de muscle peut être considéré comme un fais-
« ceau d'autant de sachets cylindriques, composés de grains
« ou de palets superposés, sans interruption, dans un tube
« de sarcolemme, entre lesquels les vaisseaux capillaires rem-
« plis de sang et l'extrémité dernière des filaments nerveux

« glissent et s'insinuent. Qui oserait dire maintenant, en « raisonnant avec les analogies que nous savons, quel est et « où réside le liquide ou l'électrolyte du composé? Quel est « le corps qui avec son affinité prend un des éléments de ces « électrolytes ; quel est celui qui prend l'autre élément? Et il « ne faut pas oublier que l'hypothèse quelconque que l'on « ferait devrait toujours expliquer la propriété du muscle, « sur laquelle nous avons tant insisté, c'est-à-dire sur la pro- « priété électrique des extrémités tendineuses d'un muscle « qu'on sait être le même que la section interne du muscle.

« Nous avons voulu, ajoute-t-il, mettre au jour ces obser- « vations relatives à l'exposé des faits découverts par M. Bec- « querel, parce que, dans les combinaisons électro-capillai- « res et les actions chimiques qui s'y rapportent, il est im- « possible de ne pas apercevoir quelque analogie avec ce qui « se passe dans les tissus des animaux. »

On voit donc que Matteucci n'adoptait pas la molécule électrique primitive du muscle et par suite du nerf.

Mais il ne suffit pas d'avancer qu'il y a courant électrique dans les tissus des êtres vivants, par cela même qu'il y a production d'électricité au contact de deux liquides différents séparés par une membrane ou un tissu cellulaire; il faut encore faire connaître le corps conducteur solide servant à la recomposition des deux électricités mises en liberté et d'où résulte un courant électrique agissant comme forces physique, mécanique et chimique : tel est le but que je me suis déjà proposé d'atteindre dans la première partie de ce mémoire, en montrant que jusqu'ici on ne voyait encore que les parois des espaces capillaires qui pussent remplir ces fonctions.

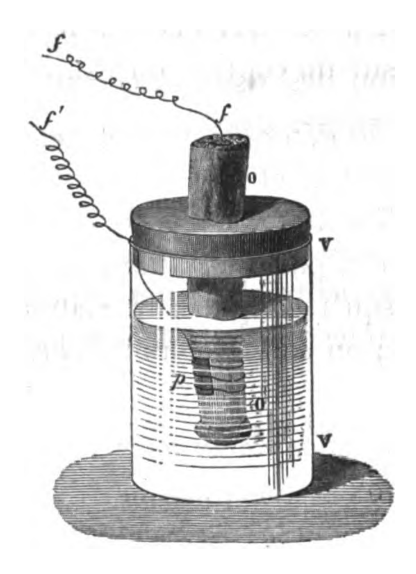
Avant de discuter de nouveau cette question, je dois parler d'une autre qui est fondamentale, de celle qui concerne la force électro-motrice, en vertu de laquelle les courants des tissus sont produits ; les tendons, les artères, les intestins, les os, les veines, tous les tissus quelconques, comme on l'a vu dans mon précédent mémoire, donnent des courants semblables aux courants musculaires et nerveux, et dans les mêmes conditions, pendant et après la vie, courants variables d'intensité et de durée, suivant que les liquides qui entrent dans la constitution des tissus, à la surface et dans l'intérieur, varient eux-mêmes dans leur composition ; preuves de l'origine chimique du courant.

Le courant osseux, qui ne diffère en rien des courants musculaires et nerveux, tels que je les considère, m'a engagé à faire, pour en connaître les effets, quelques expériences dont je rapporterai les résultats dans le paragraphe suivant.

§ I. — *Détermination de la force électro-motrice du courant osseux.*

Il était nécessaire, avant de passer outre, de trouver la force électro-motrice d'un couple formé d'un os provenant d'un animal tué nouvellement, de deux lames de platine parfaitement dépolarisées, et dont l'une est introduite dans la moelle, après avoir enlevé une des épiphyses de l'os puis mastiqué l'ouverture pour supprimer le contact de l'air, l'autre appliquée sur la surface et retenue avec un fil enroulé autour, le tout plongé dans un vase contenant de l'eau distillée, liquide le moins actif sur les substances organiques. Ce couple

donne un courant qui polarise les lames aussitôt que le circuit est fermé. L'appareil est disposé comme l'indique la figure ci-jointe : *v v* vase qui contient l'eau distillée, *o o* l'os qui y plonge, *p* lames de platine appliquées sur la surface en courant, *f f f* fils de platine qui mettent en communication l'intérieur de l'os avec le galvanomètre. Il fallait chercher un moyen de déterminer la force électro-mo-



trice du liquide humectant la moelle dans son contact avec celui qui se trouve dans les parties qui lui sont contiguës, à l'aide de la déviation de l'aiguille aimantée par première impulsion, seule donnée dont on pût disposer; on l'a trouvé dans la méthode connue dite par opposition, qui consiste à opposer au courant qui produit cette déviation un courant variable provenant d'un certain nombre de couples ayant chacun la même force électro-motrice; le nombre de ces couples donne la force électro-motrice du

courant nécessaire pour que l'aiguille garde le zéro, par rapport à celle d'un couple pris pour unité, force, je le répète, obtenue par la déviation de l'aiguille aimantée par première impulsion. En effet, soient :

I l'intensité du courant du couple formé avec l'os ;
E la force électro-motrice qui produit ce courant ;
R la résistance du couple.

I', E', R', désignent les mêmes éléments de la formule qui représente l'intensité du courant du couple étalon.

Lorsque l'on veut déterminer la force électro-motrice d'un couple, à l'aide seulement de la déviation de l'aiguille aimantée par première impulsion, on commence par introduire dans le circuit, par opposition, un certain nombre de couples types, jusqu'à ce que la déviation de l'aiguille aimantée soit nulle ; on établit alors les équations suivantes :

$$I = \frac{E}{R}, \quad I' = \frac{nE'}{nR'}$$

l'opposition des deux courants donne :

$$\frac{E - nE'}{R + nR'} = 0$$

d'où l'on tire :

$$E = nE'.$$

quelle que soit la conductibilité du système. Au lieu d'employer une pile thermo-électrique, dont la force électromotrice est connue, j'ai fait usage d'une pile composée de couples hydro-électriques d'un usage facile, et qui se trouve dans les conditions voulues pour que la comparaison des forces électro-motrices puisse avoir lieu ; cette pile a été étu-

diée d'une manière spéciale par M. Ed. Becquerel, qui en a fait connaître les résultats dans une communication qu'il vient de faire à l'Académie (séance du 10 janvier 1870).

Chaque couple est composé d'un seul liquide, d'eau saturée de sulfate de zinc, d'une lame de zinc amalgamé et d'une lame qui ne l'est pas. La force électro-motrice est assez faible pour qu'un certain nombre de couples ajoutés ou retranchés équilibrent les courants au point d'amener l'aiguille à zéro.

En opérant comme il vient d'être dit, il faut attendre, avant de recommencer une autre expérience, le temps nécessaire pour que les lames de platine soient dépolarisées, lequel dépend de l'intensité du courant et de la durée de son passage; quelques heures suffisent pour cela.

D'un autre côté, il faut bien se garder de déterminer par approximation la force électro-motrice d'un couple à os, au moyen de la déviation de l'aiguille par première impulsion, attendu que la conductibilité changeant d'un couple à l'autre, la force électro-motrice étant fixe, il pourrait se faire que, dans un cas, la déviation fût faible, ce qui pourrait conduire à une conséquence fausse. Cet inconvénient n'existe plus avec la méthode indiquée, puisque les deux courants opposés parcourent le même circuit.

Voici comment M. Edmond Becquerel a décrit la pile normale électro-chimique, dont on vient de parler, son usage et les résultats qu'il a obtenus en la comparant à des piles connues :

« Chaque couple est composé de deux électrodes en zinc laminé ordinaire, dont l'une est amalgamée seulement, et plonge dans une dissolution saturée à froid de sulfate

de zinc pur; cette dissolution est rendue la moins acide possible au moyen du carbonate de zinc. Afin que les lames ne se touchent pas, on les sépare au moyen d'un diaphragme poreux en porcelaine dégourdie, comme dans les couples à deux liquides, mais de manière que la même dissolution se trouve des deux côtés du diaphragme. Il n'est pas nécessaire que les couples aient de grandes dimensions. Des diaphragmes de 2 cent. 5 de diamètre sur 4 de hauteur suffisent; les vases extérieurs de chaque élément ont alors 3 cent. 5 de diamètre et 5 cent. de hauteur. On réunit les pôles opposés avec des fils de cuivre soudés aux lames de zinc et plongeant dans des tubes contenant du mercure, de façon que l'on puisse aisément interposer dans un circuit un nombre de couples variant depuis un jusqu'à la somme totale des éléments de la pile.

« Dans les premiers instants où l'on vient de la monter, la pile n'a pas toute son énergie; il faut vingt-quatre heures au moins pour avoir une forme électro-motrice qui soit à peu près constante et qui soit maintenue telle pendant plusieurs jours. En maintenant la même quantité de liquide dans le couple, au moyen de la même dissolution de sulfate de zinc, on pourrait faire fonctionner la pile avec une intensité constante pendant longtemps. Pour donner une idée de la puissance électro-motrice de ces forces, je dirai que dans les conditions où j'ai opéré pour compenser l'action d'un couple électro-chimique à deux liquides, zinc amalgamé, cadmium, sulfate de zinc et sulfate de cadmium, il a fallu entre 18 et 19 éléments de la pile normale précédente, mais plus près de 19, ce dernier nombre donnant seulement une force électro-motrice un peu plus forte

pour le couple zinc amalgame-cuivre, sulfate de zinc et sulfate de cuivre; il faut un nombre d'éléments compris entre 58 et 59, très-près de 59, ce dernier nombre étant un peu trop fort. D'après cela, le rapport des forces électro-motrices des deux couples serait :

$$\frac{19}{57} = 0,322$$

et d'après des déterminations directes, M. Ed. Becquerel trouve 0,324, nombre qui diffère à peine du précédent.

« Pour compenser l'action d'un couple ordinaire à acide azotique, il faudrait donc de 98 à 100 éléments; aussi, avec cette pile normale, un nombre de couples ne dépassant pas 100 éléments suffit et au delà pour la comparaison des forces électro-motrices produites entre les liquides dans les corps organisés, et même 60 éléments sont suffisants dans la plupart des cas. »

Il y a des précautions à prendre quand on se sert de cette méthode pour comparer les forces électro-motrices. Lorsqu'on compense l'action d'un couple électro-chimique par un nombre d'éléments d'une pile normale également électro-chimique, on n'établit qu'un équilibre instable entre deux courants opposés l'un à l'autre; si c'est le courant de la pile normale qui l'emporte un instant, les lames du couple opposé se polarisent par dépôt électro-chimique, et sa force électro-motrice baisse aussitôt. Alors le premier courant tend à l'emporter encore davantage. Si c'est celui du couple qui l'emporte, toutes les lames de zinc amalgamé, devenant des électrodes négatives dans les couples, se recouvrent de zinc par décomposition électro-chimique de sulfate de zinc, et la force électro-motrice de chaque élément diminue; ainsi

le courant l'emporte dans un sens ou dans un autre, l'effet s'accroîtra toujours de plus en plus dans le même sens. Il faut donc opérer par essais successifs, et après chaque essai fermer chaque pile avant chaque opposition; de cette manière, on détruit les effets inverses dus aux dépôts, et, lors de chaque comparaison, les choses se présentent toujours dans les mêmes conditions relatives.

On conçoit l'utilité de cette méthode, qui est susceptible d'une assez grande précision, quand on s'est assuré que les lames de platine sont parfaitement dépolarisées, condition indispensable pour assurer le succès de l'expérience.

On peut en faire une application, lorsqu'on veut déterminer dans les animaux vivants la force électro-motrice de deux liquides séparés par un tissu sans y produire de lésion sensible; on opère alors avec des aiguilles de platine dépolarisées.

On peut employer également l'appareil de M. Dubois-Reymond à lames de zinc amalgamées et dissolution de sulfate de zinc neutre et saturée, mais en se mettant en garde contre la réaction de la dissolution de sulfate de zinc sur les liquides des tissus.

La méthode que je viens d'exposer sera également utile dans la détermination des forces électro-motrices des liquides qui se trouvent dans les couches contiguës des tiges des arbres, ainsi que de celles des tubercules, forces qui doivent exercer une influence dans les fonctions vitales.

Dans des recherches de ce genre, on évite des pertes de temps, en opérant successivement sur un certain nombre de couples organiques afin que les lames de platine soient dépolarisées quand on les soumet de nouveau à l'expérience.

J'arrive maintenant aux expériences que j'ai faites sur la force électro-motrice du liquide qui humecte, d'une part, la moelle, de l'autre les parties environnantes. Les résultats obtenus prouvent que la force électro-motrice développée au contact de ces liquides est environ moitié de celle du couple à sulfate de cuivre, comme on peut le voir dans le tableau suivant :

NUMÉROS des COUPLES à os.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.		
	29 décembre.	30 décembre.	3 janvier.
1	39	28	33
2	30	31	36
3	31	29	32
4	29	20	28
5	16	11	11
6	32	30	62
7	25	19	19

§ II. — *Théorie du courant osseux.*

Les courants électriques osseux sont produits en mettant en communication la moelle avec la surface de l'os au moyen de deux lames de platine parfaitement dépolarisées et d'eau distillée ; ces courants méritent d'être pris en considération par les physiologistes, en raison de leur force électro-motrice assez grande, des variations qu'elle éprouve quand la dé-

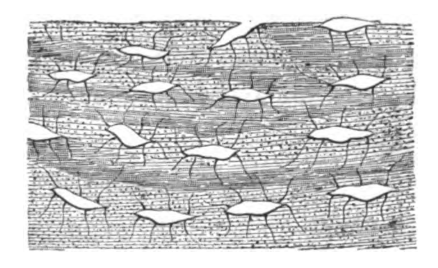
polarisation des lames de platine n'est pas complète, de leur durée selon que les os éprouvent des changements dans leur structure et la composition des liquides qui les pénètrent dans toutes leurs parties. Ces courants, comme je vais le démontrer, n'existent pas plus dans les corps vivants que les courants musculaires et nerveux, tels qu'on les a observés jusqu'ici, et qui ont cependant des rapports avec les courants électro-capillaires produits dans les espaces capillaires à l'endroit même où le dégagement d'électricité a lieu, ce qui leur donne une grande puissance, attendu que la perte au passage n'est pas appréciable.

Je ferai à cet égard une observation importante : Dans les recherches entreprises pour découvrir l'intervention des forces électriques dans les phénomènes de la vie, il ne faut pas chercher seulement les effets électriques produits au contact de deux liquides différents séparés par un tissu capillaire dont le nombre est considérable, mais bien montrer comment les deux électricités dégagées, en se recombinant, par l'intermédiaire d'un troisième corps solide conducteur, constituent des courants électriques agissant comme forces physiques et comme forces chimiques. Si l'on se bornait à déterminer les forces électro-motrices sans indiquer leur emploi comme je viens de le dire, la science n'en tirerait aucun profit ; le nombre de ces forces est considérable dans l'organisme ; je citerai, comme exemple, celles que l'on peut observer dans les tiges concentriques des végétaux et dans celles des tubercules.

Je vais examiner maintenant jusqu'à quel point la structure des os peut donner naissance à des courants électriques électro-capillaires ou à d'autres courants. Il est nécessaire

pour cela de faire un exposé très-succinct de la structure et de la composition des os, afin d'indiquer les parties qui peuvent servir à cet usage.

Le tissu osseux dans l'homme se présente sous deux formes : sous celle d'une substance compacte et sous la forme d'une substance spongieuse ; la première n'est compacte qu'en apparence, car on y trouve disséminées un grand nombre de petites cavités microscopiques lenticulaires, longues de 2 à 5 centièmes de millimètre, communiquant ensemble par l'intermédiaire de canalicules anastomosés, irradiés autour d'elles et larges de 2 millièmes de millimètre, comme l'indique la figure ci-jointe :



Ces cavités et canalicules sont remplis d'un liquide homogène. La substance ainsi formée est disposée en minces couches concentriques autour des canaux *de havers*, dans lesquels sont logés les vaisseaux capillaires et autres qui possèdent les couches osseuses dites compactes. Dans le tissu spongieux, cette substance est en lamelles et *colonnettes* ou tubercules qui limitent les cavités pleines de moelle. A part 5 à 7 p. °/₀ d'eau, 2 à 3 de graisse, les os contiennent

en matières inorganiques de 57 à 60 p. °/o de phosphate tribasique de chaux et de 7 à 8 de carbonate de la même base, plus divers autres composés.

La moelle est un tissu dont la texture est la plus simple ; les éléments dont elle est composée ont toute la configuration de cellules, avec une certaine quantité de matière amorphe interposée. Sa texture consiste donc uniquement en une juxtaposition des éléments anatomiques ayant la forme de cellules avec une certaine quantité de matière amorphe interposée dont la proportion est différente suivant les variétés de moelle; dans ce tissu se montrent des vaisseaux capillaires. Leurs mailles ont à peu près deux à trois fois le diamètre des vaisseaux capillaires qui les circonscrivent, comme cela arrive dans les tissus riches en vaisseaux. Elles sont à peu près d'égale dimension dans tous les sens.

Je donnerai, d'après M. Robin, la structure de la moelle, qu'il importe de connaître.

Le tissu de la moelle des os se prolonge dans un certain nombre de canaux vasculaires et jusque sous le périoste. On le trouve en outre le long des conduits vasculaires des cartilages d'ossification. Il est remarquable par sa mollesse, par sa consistance pâteuse qui est çà et là demi-liquide. Ce tissu, néanmoins, n'est pas un liquide ni une sérosité, mais bien un tissu dont la consistance pâteuse varie un peu d'un sujet à un autre et même avec l'âge.

On distingue trois variétés de moelle, sous le rapport de la coloration : la première variété est la moelle rouge ou musculaire; elle existe dans les épiphyses des os très-courts et dans les os plats; elle contient, d'après Berzélius, 75 parties d'eau, 25 d'albumine, de fibrine et de sels analogues à

ceux contenus dans la chair musculaire et seulement des traces de graisse.

La seconde variété est la moelle gélanitiforme; elle est douée d'une demi-transparence particulière, d'une couleur grisâtre ou jaunâtre. Sa demi-transparence et sa consistance sont analogues à celles de la gélatine; cette moelle a pour composition 96 p. °/₀ de graisse, une partie de tissu conjonctif, 3 °/₀ d'un liquide contenant des substances analogues à celle de la chair musculaire.

La troisième variété est la moelle proprement dite ou moelle graisseuse; elle est opaque, jaunâtre, et par suite on la compare quelquefois au tissu adipeux, mais elle en diffère notablement par sa texture, par sa consistance et par la délicatesse de son tissu.

Il n'y a point de membrane médullaire destinée à séparer la substance osseuse de la substance de la moelle; celle-ci est en contact immédiat avec la substance osseuse.

Il existe dans la variété gélatiniforme de la moelle, une substance amorphe, qui prend une part notable à la constitution de cette variété de moelle; c'est une trame de fibres fines lamineuses entrè-croisées dans toutes les directions. Ce n'est que dans le tissu de la moelle des os longs et dans les plus grands espaces médullaires du tissu spongieux que l'on trouve cette trame fibrillaire; elle manque dans la moelle qui remplit les plus petites cavités du tissu spongieux des extrémités des os et des vertèbres du sternum. Il importe donc de savoir que, dans certaines portions de la moelle, on peut trouver, entre les autres éléments, une trame de fines fibres de tissu lamineux entre-croisées et s'irradiant à partir des centres qui sont généralement représentés par des vaisseaux,

Les os sont liés entre eux sans articulations proprement dites. Ils sont réunis par une espèce de membrane très-mince, cartilagineuse, formée de tissu conjonctif et couvert sans exception d'une couche mince de tissu cartilagineux.

Ils sont recouverts de périoste, formé d'une membrane extensible vasculaire qui donne passage aux vaisseaux et aux nerfs destinés aux os qui en possèdent un grand nombre.

Dans les os longs, la moelle et les extrémités spongieuses les reçoivent d'une autre source que la partie moyenne.

Dans les os longs, les nerfs s'engagent dans les vaisseaux nourriciers; leur passage leur donne une grande importance dans la nutrition des os. Leur adhérence aux os est plus ou moins grande.

L'union des muscles avec les os, les cartilages, la peau, etc., s'opère tantôt directement, tantôt par l'intermédiaire d'éléments fibreux, comme les tendons, les membranes tendineuses. Il est rare que les deux extrémités d'un muscle s'insèrent dans un os sans un tendon; lorsque les fibres musculaires naissent directement des os ou des cartilages, ou lorqu'elles s'y insèrent sans intermédiaire, elles s'arrêtent au périoste.

Les muscles qui se rendent à la peau, tantôt se tendent horizontalement au-dessous de ce tégument avec lequel ils n'ont aucune connexion directe; tantôt les tendons sont formés presque entièrement de tissu conjonctif. On en distingue de plusieurs formes: cordons tendineux ou tendons proprement dits, tendons membraneux ou aponévroses. Ils servent à unir les muscles avec les diverses parties qu'ils mettent en mouvement. L'union avec les muscles se fait d'une manière très-distincte : tantôt les fibres musculaires se continuent directement avec les fibrilles tendineuses; tantôt elles

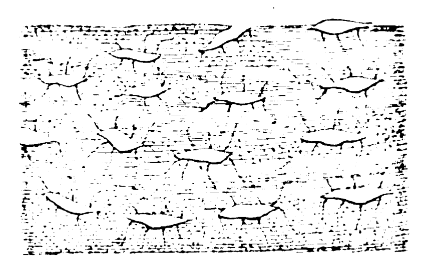
se terminent par des extrémités mousses, en formant avec les tendons un angle aigu.

Les tendons sont unis d'un autre côté avec les os, les cartilages, les membranes fibreuses; leur réunion avec les os et les cartilages a lieu fréquemment au moyen du périoste et du périchondre dont les éléments, analogues à ceux du tendon, semblent se continuer directement avec ces derniers ou être simplement renforcés par leur épanouissement.

Il s'agit maintenant d'examiner jusqu'à quel point l'os, en raison de sa structure, de la composition des diverses parties qui le constituent, des nerfs et des vaisseaux qui s'y ramifient et de ses rapports avec les tissus qui l'entourent, est apte à donner naissance, dans les êtres vivants, à des courants électriques autres que les courants électro-capillaires.

On a déjà vu que les nerfs et les tendons servaient de conducteurs dans la production des courants musculaires et nerveux, quand ils sont isolés des tissus environnants. Le courant osseux a une origine semblable à celle du muscle et du nerf quand l'intérieur est mis en communication avec l'extérieur au moyen d'un arc métallique non oxydable; dans l'os, le courant est dû à la réaction du liquide qui humecte la moelle et qui est alcalin sur les liquides ambiants. Or, d'après ce qu'on a vu précédemment, la moelle se trouve non-seulement dans le canal médullaire, mais encore dans les cavités osseuses et dans les canalicules, c'est-à-dire qu'elle est répartie dans toutes les parties de l'os, excepté dans les vaisseaux et les nerfs et les parties solides des os; partout où elle se trouve, elle doit dégager, par suite de sa réaction sur les liquides ambiants, de l'électricité négative, et ceux-ci de l'électricité positive; ces deux électricités servent

d'abord à la production des courants électro-capillaires, puisque ces liquides sont séparés par des tissus à pores capillaires; voyons si elles ne contribueraient pas à faire naître d'autres courants par l'intermédiaire des enveloppes des vaisseaux et des nerfs, des tendons et du périoste. La figure suivante donne une idée de la structure de l'os et de la manière dont l'os est reporté.



Les électricités dégagées se recombinent par l'intermédiaire des tissus cellulaires qui séparent les liquides, d'où résultent des courants électro-capillaires dont l'existence est démontrée dans la première partie de ce Mémoire. Toute l'électricité devenue libre a cette destination. Les nerfs, les vaisseaux et les tendons servent donc d'intermédiaire pour la production de ces courants.

Que se passe-t-il quand on met en communication l'intérieur de l'os avec le périoste au moyen d'un arc de platine? On obtient les mêmes effets que dans les appareils des tubes fêlés remplis d'une dissolution métallique et plongeant dans une dissolution de monosulfure alcaline, lorsque l'une et l'autre sont mises en communication avec deux lames unies par un fil de platine et plongeant, chacune, dans une dissolution.

Dans ce cas, le courant passe en totalité dans l'arc métallique et les lames sont les électrodes sur lesquelles s'opèrent les actions électro-chimiques, les parois des espaces capillaires cessant alors de fonctionner comme électrodes, attendu que leur conductibilité est beaucoup moindre que celle du platine. Il suit de là que la lame de platine introduite dans la moelle s'empare de l'électricité négative devenue libre dans toutes les parties où elle se trouve, tels que cavités, canalicules, etc., etc., tandis que le périoste qui est traversé par les vaisseaux et les nerfs s'empare de l'électricité positive dégagée dans le contact du liquide ambiant avec celui de la moelle.

Quant à la détermination de la force électro-motrice qui peut être faite avec exactitude, elle a une certaine importance comme je l'ai dit plus haut, puisqu'elle fait connaître l'intensité de la force en vertu de laquelle fonctionnent les courants électro-capillaires, comme force physique et comme force chimique.

Il résulte de ce qui précède que, si on avait un moyen quelconque de mettre en communication métallique ou autre la partie intérieure d'un muscle ou d'un os avec sa surface, dans un corps vivant, on détruirait probablement les actions électro-capillaires, les phénomènes de nutrition cesseraient aussitôt, et la mort du tissu arriverait peu à peu ; telle est la conséquence à tirer des faits observés.

§ III. *Des causes de l'état électro-tonique des nerfs.*

Lorsqu'on fait passer un courant constant dans une certaine longueur d'un nerf, celui-ci éprouve dans toute sa lon-

gueur un changement dans ses propriétés physiques et dans ses degrés d'irritabilité.

M. Dubois-Reymond a appelé cet état électro-tonique; M. Pfluger, en analysant ce phénomène, a reconnu que l'irritabilité du nerf dans le voisinage de l'électrode négative est augmentée, tandis qu'elle est diminuée près de l'électrode positive.

Entre ces deux états se trouve un point neutre où l'irritabilité n'éprouve pas de changement; il a nommé zone catélectro-tonique celle qui environne l'électrode négative et zone anélectro-tonique celle qui entoure l'électrode positive. Voyons maintenant ce qu'il y a d'effets physiques et chimiques dans le phénomène; il est nécessaire, pour cela, de rappeler les effets d'induction qui doivent jouer, ici, un certain rôle ainsi que la polarisation des électrodes qui sont en contact avec le nerf.

Lorsqu'un fil de métal, ou une autre substance conductrice, est placé à peu de distance d'un autre fil parcouru par un courant électrique, il se forme dans le premier un courant instantané dirigé en sens contraire du premier. Vient-on à interrompre le circuit, on a alors un courant dans le même fil, mais dirigé dans le même sens que le courant inducteur. On a appelé l'un extra-courant inverse, l'autre extra-courant direct. Le fil qui est ainsi soumis à l'induction paraît être dans un état particulier auquel Faraday a donné le nom d'électro-tonique et qu'il considère comme un état de tension équivalent à un courant électrique au moins égal au courant qui est produit lorsque l'induction a lieu ou lorsqu'elle est supprimée. Cet état électro-tonique est relatif aux particules et non à la masse du fil. De semblables effets sont produits

dans le fil même qui est parcouru par un courant; il y a un extra-courant inverse à l'instant de la fermeture, et un extra-courant direct au moment de l'ouverture, courant dont il est facile de constater la production, quand le fil où se produit le courant indirect forme un circuit fermé. Toutes les fois qu'un courant électrique traverse un corps, de semblables effets ont lieu; il doit en être ainsi quand un nerf est parcouru par un courant constant; mais ces effets ne sont pas les seuls, il y en a d'autres que je vais indiquer et qui doivent être pris en considération.

On reconnaît, en répétant l'expérience de Galvani, qu'il suffit, pour faire contracter le muscle dans une grenouille préparée, de mettre en contact le muscle de la jambe avec le nerf lombaire dégagé de tous les tissus adjacents. Ce phénomène cesse peu de minutes après sur des pattes de pigeon et de lapin, tandis qu'avec des muscles de grenouille il se prolonge plus longtemps. Je me borne à mentionner les faits observés.

Dans les expériences précédentes, l'affaiblissement du courant de la grenouille, lorsque l'on veut constater son existence, en le faisant passer dans le circuit d'un galvanomètre comme l'a indiqué le premier Nobili, paraît dépendre des polarisations secondaires qui ont lieu soit sur les lames de platine servant à transmettre le courant, soit sur le nerf lombaire et le muscle de la jambe, car le plus faible courant suffit pour produire cet effet, comme je l'ai prouvé dans les expériences que j'ai faites pour déterminer la quantité d'électricité libre nécessaire pour décomposer un milligramme d'eau au moyen de la polarisation de deux lames de platine servant à transmettre les décharges électriques. J'ai reconnu ef-

fectivement que la décharge la plus faible, telle que celle qui résulte de l'électricité dégagée en frottant un bâton de gomme laque, et qui est transmise dans de l'eau distillée au moyen de deux lames de platine et dont l'une est en communication avec le sol au moyen d'un fil de platine, suffisait pour polariser ces lames, et non pour faire dévier l'aiguille aimantée d'un galvanomètre très-sensible. Ne doit-on pas penser, d'après cela, que si la contraction de la grenouille, dans l'expérience de Galvani, cesse quelques minutes après sa préparation, cet effet dépend non-seulement de ce que le nerf a perdu une partie de son irritabilité, mais encore de la polarisation des parties musculaires et nerveuses en contact, laquelle donne lieu à un courant en sens inverse. J'ai prouvé, comme il suit, la polarisation des substances non conductrices mais humides, servant d'électrodes, pour décomposer une dissolution saline neutre : soient deux vases contenant une dissolution de sulfate de soude, dans lesquels plongent deux lames de platine transmettant la décharge d'une pile à sulfate de cuivre composée de plusieurs couples. Les deux dissolutions sont mises en communication avec une bande de papier épaisse, amidonnée et iodurée, d'un décimètre de longueur. On ne tarde pas à s'apercevoir que l'extrémité de la bande de papier en regard de l'électrode négative, et qui remplit le rôle d'électrode positive, bleuit. Cette expérience prouve évidemment que les deux extrémités de la bande de papier humide servant d'électrodes se polarisent ; les muscles et les nerfs peuvent donc être polarisés également par le passage du courant musculaire. Au surplus, cette propriété est la même que celle que possèdent les parois des espaces

capillaires, dans les appareils électro-capillaires; l'origine chimique de ce courant me paraît évidente d'après les expériences rapportées dans la première partie de ce mémoire.

Matteucci, quoique partisan de l'origine chimique du cousant musculaire et du courant nerveux, n'admet pas cette polarisation dans le muscle et le nerf. Voici la raison qu'il en donne : 1° Les courants sont très-faibles ou tout à fait nuls lorsque les grenouilles sont tuées depuis 15 ou 20 heures; mais je ne vois pas que cette raison soit valable, d'après les expériences que je viens de rapporter et surtout d'après cette considération que les courants musculaires et nerveux subsistent pendant plusieurs jours, en opérant comme je l'ai indiqué, courants qui changent de sens à un certain degré de la décomposition de la matière organique.

En opérant, comme l'a fait Nobili, le muscle étant dans l'un des verres avec un liquide conducteur et une lame de platine et le nerf dans l'autre avec le même liquide et une autre lame de platine, un galvanomètre faisant partie du circuit; il y a : 1° polarisation des lames, du nerf et du muscle; 2° réaction des liquides sur les tissus, effets qui réagissent sur leurs parties constituantes. Dans des expériences de ce genre, il faut employer de l'eau distillée au lieu de liquides qui, réagissant avec plus ou moins d'énergie sur les matières organiques, produisent sur les surfaces de ces derniers des composés qui, ne se comportant pas de la même manière à l'égard des liquides ambiants, modifient plus ou moins le courant de la grenouille. On conçoit d'après cela combien d'effets divers peuvent être produits alors, lesquels doivent être pris en considération dans l'étude de la question.

Le nerf, dans l'expérience de Galvani, agit, suivant Mat-

teucci, en raison de son irritabilité et de sa conductibilité qu'il regarde néanmoins comme mauvaise.

Je partage cette opinion, avec cette différence toutefois, que le courant musculaire n'existe pas dans les corps vivants, où il n'y a pas de circuit fermé, comme dans les expériences où l'on produit ce courant. Les forces électro-motrices des muscles et des nerfs existent bien dans les corps vivants, mais elles ne peuvent donner lieu qu'à des courants électro-capillaires auxquels je rapporte la respiration des tissus ainsi que leur nutrition.

M. Dubois-Reymond a reconnu que, pour augmenter l'intensité du courant, il suffisait de mouiller légèrement les muscles avec une solution très-légère d'acide sulfurique. Cela est facile à concevoir, attendu que, la surface extérieure des muscles étant ordinairement positive, tout liquide qui la rendra plus positive encore, par sa réaction sur le liquide intérieur, augmentera nécessairement l'intensité du courant. L'intervention d'un acide complique les effets.

Matteucci a mis en évidence le courant musculaire sur un morceau de muscle d'un animal vivant, en introduisant dans la blessure faite, dans ce même muscle, le nerf de la grenouille galvanoscopique, de manière qu'il fût mis en contact par deux de ses points, d'une part, avec la surface du muscle, d'une autre, avec un point de la section intérieure. Dans ce cas, la grenouille se contracte par suite du courant résultant de la communication établie entre la surface extérieure et la surface intérieure du muscle, par l'intermédiaire du nerf qui ne sert ici que de conducteur et remplace par conséquent l'arc métallique. La contraction est produite dans cette circonstance par un courant ayant bien une

origine chimique ; le nerf agit, je le répète, comme corps conducteur et en raison de son irritabilité.

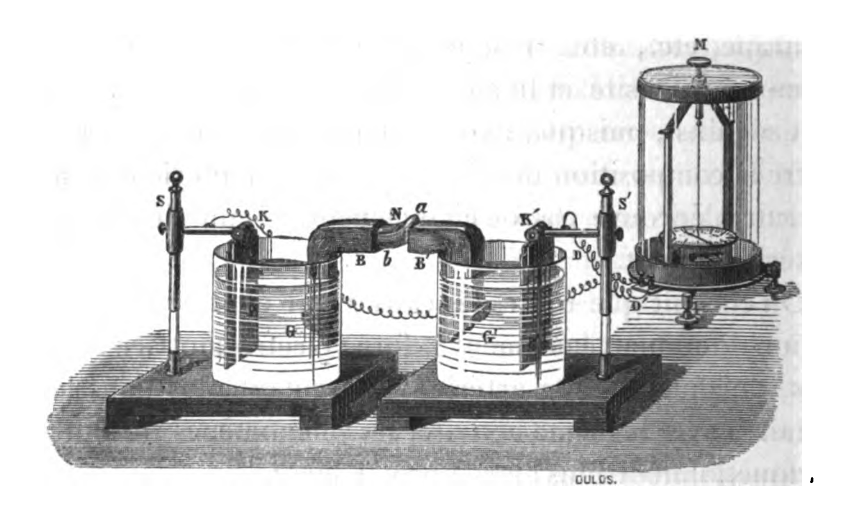
Matteucci a reconnu que, dans l'air, l'oxygène, l'acide carbonique, etc., etc., le courant musculaire a sensiblement la même intensité et la même durée ; il doit en être effectivement ainsi, puisque, dans un temps très-court, le rapport entre la composition des deux liquides à l'intérieur et à l'extérieur n'éprouve pas de changement, comme je l'ai prouvé antérieurement.

On conçoit que toutes les causes qui contrarient la respiration diminuent également la force électro-motrice des muscles, puisque, le sang artériel ne circulant plus dans les capillaires avec la même activité, les phénomènes de nutrition ne fonctionnent plus alors normalement.

Matteucci admet sans restriction que la source de l'électricité animale dépend des actions chimiques de la nutrition ; il aurait dû ajouter, de la respiration musculaire, qui modifie la composition du sang dans toutes les parties de l'organisme, partout où il y a des capillaires.

On vient de voir que les expériences de Nobili et de Matteucci ont eu pour but de mettre en évidence le courant dit musculaire, en établissant d'abord la communication entre la surface extérieure et la section transversale d'un muscle au moyen de deux lames de platine, en rapport avec un galvanomètre très-sensible; mais, la polarisation des lames ne permettant pas de mesurer les effets, M. Dubois-Reymond a fait usage d'un galvanomètre à 24,000 tours et pour électrodes de lames de zinc amalgamées plongeant dans une dissolution neutre et saturée de sulfate de zinc ; on évite ainsi la polarisation des électrodes. Cette heureuse invention est due

à M. Jules Regnault, qui a rendu ainsi un véritable service à l'électro-chimie et à l'électro-physiologie. Voici la description



de cet appareil, qui se compose essentiellement de deux vases G G' remplis d'une dissolution de sulfate de zinc neutre et concentrée, dans chacun desquels plonge une lame de zinc amalgamée *p* ou *p'* portant à sa partie supérieure un fil *d* ou *d'* communiquant avec un galvanomètre à 24,000 tours *m*, placé sur une tablette, comme l'indique la figure, placée à la portée de l'observateur. S S' sont ses supports isolants munis de vis de pression. Sur le bord de chaque vase, on pose un petit coussinet *b* ou *b'*, qu'on plonge par une de ses extrémités dans le liquide, et dont les deux autres extrémités servent à fermer le circuit au moyen d'un muscle *ab*, dont l'intérieur *a* est introduit dans l'extrémité *b*, et dont la surface est posée sur l'autre extrémité; à cet effet on rapproche les deux vases *g g'*, jusqu'à ce que le contact soit établi.

Je ferai remarquer que cet appareil présente dans des expériences de longue durée des inconvénients, si l'on n'y fait pas attention; en effet, dans les deux vases VV', contenant la dissolution de sulfate de zinc et les lames de même métal amalgamées, plongent deux bandes épaisses de papier humectées soit de la même dissolution, soit d'eau distillée; dans ce dernier cas, si, par l'effet de la diffusion de la dissolution de sulfate de zinc dans l'eau de la bande, elle ne parvient pas en même temps à l'extrémité supérieure des deux bandes; dans ce cas, les deux parties du tissu qui posent sur les bandes ne reçoivent pas le même genre d'action de la dissolution du sulfate; il en résulte alors des effets électriques donnant lieu à des courants. Il suffit de s'être beaucoup occupé des forces électro-motrices produites au contact des liquides, pour savoir que la moindre différence dans la composition des liquides suffit pour modifier cette force.

Quand on opère avec les bandes de papier humectées de la dissolution de sulfate de zinc, les inconvénients sont plus grands encore, car, pour peu que le muscle et le nerf ne soient pas attaqués également par elle, il y a courant. On ne peut donc en conclure *à priori*, je le répète, que ce courant ait lieu également dans l'animal vivant, où il n'existe pas de corps solides conducteurs de l'électricité, et isolés, puisque les muscles, les vaisseaux sanguins et autres forment des masses qui concourent toutes aux décharges électriques, suivant leur conductibilité.

§ IV. — *Causes des effets produits dans le nerf par le passage d'un courant.*

J'ai cherché à expliquer la cause des effets produits dans un nerf, par le passage d'un courant constant, au moyen de deux lames de platine appliquées en deux points de son trajet, en prenant en considération les effets chimiques et physiques produits par le passage du courant; par l'effet de l'action électro-chimique, l'électrode négative est entourée d'un liquide alcalin et l'électrode positive d'un liquide acide dont les quantités dépendent de l'intensité du courant. Le premier augmente, comme on le sait, l'irritabilité du nerf; le second la diminue, en même temps qu'il coagule l'albumine. La première zone est appelée zone catélectro-tonique; la seconde zone anélectro-tonique, celle où se trouve l'acide; entre les deux zones, se trouvent les points neutres, ce sont précisément ceux où l'acide et l'alcali se combinent ensemble. Ce courant n'agit, ici, que par une action secondaire qui est purement chimique, mais il existe d'autres actions : 1° Une action mécanique qui consiste dans un transport de liquide de l'électrode positive à l'électrode négative, au travers des tissus; 2° une double action physique : la première consiste dans un changement plus ou moins persistant dans l'arrangement des molécules organiques, par suite de l'action répulsive que l'électricité exerce quand elle traverse les corps, propriété dont les effets sont d'autant plus marqués que les corps sont moins bons conducteurs.

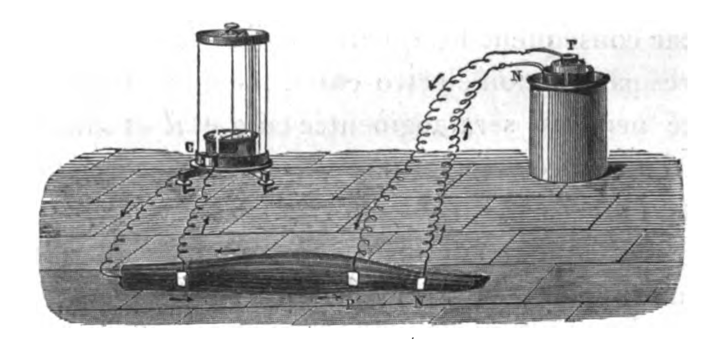
La seconde action physique provient de l'extra-courant direct dont l'effet est de tenir les molécules organiques dans

un état de tension pendant le passage. Or, rien ne prouve que cet état de tension, en raison du peu d'élasticité des parties organiques, ne subsiste pas encore lorsque le courant a cessé de circuler.

Dans l'étude que l'on a faite de l'état du nerf soumis à ces trois modes d'actions et qu'on a appelé électro-tonique, on n'a pas fait la part qui revient à chacune d'elles; on s'est attaché seulement à la résultante des effets produits.

L'effet chimique est tellement bien marqué que, lorsque l'on a fait passer un courant constant dans un nerf à l'aide de deux lames de platine, si l'on enlève celles-ci et qu'on y substitue deux autres lames dépolarisées en rapport avec un galvanomètre, on obtient aussitôt un courant dirigé en sens inverse, qui résulte de la présence de l'acide et de l'alcali sur les parties du nerf où les lames sont posées; l'irritabilité ne doit pas être modifiée sensiblement; quant aux points neutres, ce sont ceux où l'acide et l'alcali se neutralisent.

Je dois signaler encore un autre effet mentionné dans la théorie de l'électro-tonisme, et qui consiste en ceci :



Soit un nerf B dans lequel on fait circuler le courant nerveux en mettant en communication deux points, l'un

superficiel, l'autre central, au moyen de deux fils métalliques en rapport avec un galvanomètre courant qui suit la direction *bcda* ; si l'on fait passer ensuite dans le même nerf le courant d'une pile P, composée de plusieurs éléments dont les électrodes positive et négative sont placées en *p* et *n*, le courant de la pile, par une action dérivée, vient renforcer celui du nerf, comme l'indique la flèche; si le courant chemine en sens inverse, le courant musculaire est alors diminué. Il est facile maintenant de se rendre compte des effets chimiques produits, lesquels réagissent sur l'irritabilité du nerf, selon que les zones électro-toniques sont plus ou moins chargées d'acide ou d'alcali.

Le courant du nerf *abcd*, circulant comme l'indique la flèche dans le nerf, le point *a* est le pôle négatif du couple, et le point *d* le pôle positif, et ces deux points, en se polarisant, donnent naissance à un courant dirigé en sens inverse. Pendant l'intervention de la pile voltaïque, cheminant comme l'indique la flèche, cas où le courant nerveux est renforcé, les points *a* et *d* sont l'un plus négatif, l'autre plus positif qu'avant ; par conséquent les quantités d'acide et d'alcali devenus libres par l'action électro-chimique ayant augmenté, l'irritabilité nerveuse sera augmentée en *a* et *d* et diminuée en *a* et *d;* d'un autre côté, les points *p* et *n* étant également recouverts, l'un d'acide, l'autre d'alcali, l'irritabilité nerveuse sera par conséquent modifiée en ces points ; on voit par là combien sont complexes les effets physiologiques qui en résultent.

Indépendamment de l'intervention des acides et des alcalis sur l'irritabilité nerveuse, les forces mécaniques et physiques,

dont il a été question précédemment, exercent leur action; ce qui tend à le prouver, c'est le courant inverse produit quand on interrompt le circuit.

Cet état de choses n'a pu être produit que par un dérangement dans la position naturelle des molécules qui sont revenues à leur état d'équilibre primitif. Mais comment trouver la part de chacune des trois causes signalées? Les expériences manquent pour répondre à cette question.

Je dois signaler encore un effet de l'action chimique des courants, qui doit être pris en considération.

On dit que, lorsqu'un nerf dépérit, sa force électro-motrice diminue peu à peu et finit par être renversée; c'est précisément ce qui arrive avec le muscle, comme je l'ai dit dans le premier mémoire. Cet effet provient de la même cause, c'est-à-dire de la décomposition chimique qui rend l'intérieur acide, d'alcali qu'il était auparavant. En effet, lorsqu'on forme un circuit fermé avec un muscle, au moyen de deux lames de platine réunies par un fil de métal, l'une placée dans l'intérieur, l'autre à l'extérieur, on a un courant résultant de la réaction l'un sur l'autre des liquides qui humectent la partie en contact avec les lames.

Au bout d'un certain temps, l'intérieur devient plus acide que l'extérieur, le courant change de sens; or, comme de pareils effets sont produits quand le muscle se trouve dans l'azote, dans l'hydrogène, même dans le vide, il faut admettre, pour expliquer tous ces effets, que les parties constituantes du muscle, solides et liquides, se décomposent par l'action réciproque de ces parties hors de l'influence des milieux ambiants, décomposition qui est la cause des effets électriques observés.

Je prévois une objection que l'on pourrait m'adresser. Après avoir indiqué les forces physico-chimiques qui interviennent dans les principales fonctions nutritives de l'organisme, pourquoi ne pas essayer de reproduire avec ces mêmes forces quelques-uns des composés liquides des corps vivants? La réponse est facile : ces forces n'agissent pas seules dans les corps vivants, il leur faut encore le concours de l'action nerveuse et de celle relative à l'excitabilité des muscles qui sont inconnues, ainsi que l'intervention du sang à l'état liquide et qui conserve sa fluidité dans les corps vivants, tandis qu'il se coagule quand il est extrait des vaisseaux et au contact de l'air, lors même qu'on lui conserve sa température primitive. Il y a dans tous ces phénomènes une action mystérieuse qui nous échappe, laquelle est couverte d'un voile que l'homme ne saurait soulever.

§ V. — *Du courant électrique produit dans la contraction musculaire.*

En 1842, Matteucci découvrit le fait qu'il a appelé contraction induite, lequel indiquait déjà que le muscle, quand il se contractait, produisait une décharge électrique.

Ce fait consiste en ceci : lorsque l'on pose le filet de la grenouille galvanoscopique sur le muscle crural d'une grenouille préparée à la manière ordinaire, et qu'on le fait contracter, en irritant d'une manière quelconque le nerf lombaire, on voit aussitôt les contractions se développer dans la grenouille galvanoscopique. On obtient le même effet en plaçant le nerf de la grenouille galvanoscopique sur le cœur

d'une grenouille ou d'un animal quelconque : les palpitations de ce muscle produisent le même effet que les contractions du muscle animal. Cet effet n'est produit qu'autant que la grenouille préparée et la grenouille galvanoscopique sont bien vivaces.

Matteucci ayant répété et varié devant moi les expériences dont il vient d'être question, je lui remis la note ci-jointe qu'il a insérée dans son *Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux* (page 133, 1844), « et qui indiquait « déjà que la grenouille, en se contractant, produit une dé- « charge électrique quand l'extrémité du nerf de la grenouille « galvanoscopique est posée sur le muscle ou n'est séparée que « par une bande de papier humide; elle se décharge par la « feuille d'or, attendu que celle-ci conduit mieux l'électri- « cité que le nerf, fait analogue à celui que l'on observe en « plaçant une torpille dans un plat de métal que l'on tient « à la main. Enfin l'interposition d'une bande de papier « glacé ou isolant doit empêcher le nerf de la jambe d'en « être affecté.

« Tous ces effets ne peuvent être produits que par des « courants dérivés; dès lors on est porté à admettre la pro- « duction d'une décharge électrique à l'instant où le muscle « se contracte.

« Si des expériences entreprises dans une autre direction « viennent confirmer les conséquences que l'on tire du fait « observé par M. Matteucci, ce physicien aura découvert une « des propriétés les plus importantes des muscles, sous l'em- « pire de la vie ou quelque temps après la mort. » Je m'exprimais ainsi sans avoir étudié le phénomène comme je viens de le faire.

Matteucci, en variant les expériences pour tâcher de remonter à la cause du courant induit, a reconnu d'abord que le muscle seul produit ce phénomène, et que, si l'on répète l'expérience après avoir coupé les tendons et fait différentes sections en travers, on n'obtient ni la contraction du muscle ni la contraction induite.

Les physiologistes ne sont pas d'accord sur la cause du courant produit dans la contraction du muscle. Matteucci pense qu'à l'instant où le muscle se contracte, il se manifeste un courant inverse de celui qui existe dans le muscle à l'état de repos. Cette hypothèse repose sur l'observation qu'il a faite, qu'un muscle qui se contracte peut produire par influence la contraction d'un autre muscle dont le nerf est appliqué sur l'autre; pour lui c'est la contraction induite.

M. Dubois-Reymond ne partage pas cette opinion: l'oscillation négative qui a lieu quand le muscle passe de l'état de repos à l'état de mouvement provient de ce qu'au moment où a lieu la contraction, le courant cesse; l'aiguille, en rétrogradant vers zéro, semble soumise à un courant dirigé en sens inverse. La contraction cessant, l'aiguille reprend peu à peu sa position primitive d'équilibre.

M. Dubois-Reymond base son opinion sur ce fait, qu'en maintenant le muscle à l'état de tétanos pendant un temps assez long, l'aiguille en rétrogradant finit par se fixer à zéro, ce qui tend à prouver qu'il ne se produit pas de courant inverse à l'instant de la contraction.

Quant à la contraction induite de Matteucci, M. Dubois-Reymond pense qu'elle peut être aussi bien expliquée par la suppression de tout courant que par l'établissement d'un courant en sens inverse du premier; il cite encore ce fait, qu'à

l'instant où le muscle prend la rigidité cadavérique, la surface est électrisée négativement et l'intérieur positivement.

On sait effectivement que dans ce cas l'intérieur devient acide ; il dit encore que le courant disparaît quand le muscle est en décomposition, ce qui n'a pas lieu en opérant comme je l'ai indiqué précédemment.

M. Claude Bernard, qui a discuté les opinions émises sur la cause du courant induit, s'est demandé jusqu'à quel point est liée la contraction musculaire au phénomène de la contraction induite, et si ces faits ont une relation intime ? Il se borne à poser la question.

Je dirai avec M. Claude Bernard qu'il n'y a qu'une simple coïncidence de faits. Essayons de montrer quelles sont les causes qui peuvent intervenir dans les effets électriques que l'on observe en faisant contracter un muscle. Que se passe-t-il, en effet, quand la contraction se manifeste dans un muscle pourvu de son nerf, placé sur les deux coussinets de l'appareil de M. Dubois-Reymond, le muscle d'un côté, le nerf de l'autre ? Le circuit étant fermé, on a le courant du muscle à l'état de repos. Vient-on à irriter le muscle, l'aiguille aimantée du galvanomètre rétrograde aussitôt vers zéro. Pendant le mouvement, le muscle change de forme : il y a raccourcissement de l'axe longitudinal et augmentation de diamètre de la section transversale. Pendant ce travail moléculaire, la conductibilité du muscle est modifiée d'une manière quelconque ; d'un autre côté, on sait que le muscle à l'état de repos est alcalin à l'intérieur et neutre ou acide à la surface. Lorsque le muscle se contracte pendant plus ou moins de temps jusqu'au point de lui donner le tétanos, peu à peu l'intérieur devient acide ; jusque-là, le courant dimi-

nue peu à peu d'intensité et finit par prendre une direction inverse; il résulte de là qu'une seule contraction diminue suffisamment l'alcalinéité de l'intérieur, à cause de l'acide qui se forme, pour que l'aiguille aimantée rétrograde vers zéro.

En résumé, les faits exposés dans ce mémoire conduisent aux conséquences suivantes : les courants musculaires nerveux, osseux et autres, que l'on observe dans les êtres vivants ou morts, lorsque les tissus forment des circuits fermés en mettant en communication l'intérieur avec la surface, soit avec un nerf isolé de tous les tissus adjacents, soit avec un arc métallique, ont une origine chimique et ne proviennent nullement d'une organisation électrique des muscles et des nerfs, de sorte que l'on ne peut faire dépendre les fonctions musculaires et nerveuses de cette organisation.

Les courants électro-capillaires jouent le principal rôle dans ces mêmes fonctions; ce sont les seuls dont l'existence soit bien constatée jusqu'ici ; dans les corps vivants, ils sont produits partout où il y a deux liquides différents séparés par une membrane cellulaire où l'action capillaire peut s'exercer. La vie cessant, les cellules s'agrandissent, les liquides se mêlent et la putréfaction commence. Là s'arrêtent les recherches du physicien : car tout ce qui tient à l'excitation cérébrale transmise au système sensitif, lequel réagit par une action réflexe sur les nerfs moteurs, ainsi qu'à l'action mécanique du cœur, n'est point abordable à la science.

HUITIÈME MÉMOIRE

SUR LES

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES.

TROISIÈME PARTIE.

DES EFFETS ÉLECTRO-CAPILLAIRES DANS LES OS DE CORPS RÉCEMMENT TUÉS, DANS LE CERVEAU ET LE SYSTÈME NERVEUX.

Dans la seconde partie du huitième mémoire sur les phénomènes électro-capillaires, j'ai commencé à exposer la théorie du courant osseux, laquelle comprend l'ensemble des phénomènes auxquels je rapporte la nutrition des os ; dans cette troisième partie, j'ai continué cet exposé, puis j'ai montré le mode d'intervention des forces physico-chimiques dans les fonctions de l'encéphale et du système nerveux.

On a commencé par remplacer la moelle des os successivement par de la graisse enlevée au tissu cellulaire d'un

mouton et par la matière cérébrale, afin de voir quels étaient les différences résultant de cette substitution. Les résultats obtenus ont indiqué les grands rapports qui existent entre la composition de ces trois substances.

Le couple osseux est formé, comme on l'a déjà vu, d'un os, tel que le fémur d'un mouton, dans l'intérieur duquel et au milieu de la moelle on a introduit une lame de platine dépolarisée, ou mieux encore une aiguille de même métal, plus facile à dépolariser. Les deux extrémités de cet os sont fermées hermétiquement avec du mastic afin d'éviter le contact immédiat de l'air avec la moelle; sur la surface de l'os est appliquée une autre lame de platine, ou une aiguille de même métal également dépolarisée; le tout est plongé dans de l'eau distillée, à l'exception des deux bouts libres des deux aiguilles, qui sont mis en communication avec un galvanomètre de 24,000 tours; on introduit dans le circuit une pile composée d'un nombre suffisant de couples étalons dont le courant est mis en opposition avec celui de l'os, afin que l'aiguille ne soit pas dérangée de sa position d'équilibre ordinaire; le nombre de couples nécessaire pour y parvenir donne la force électro-motrice en fonction de celle du couple étalon composé de zinc amalgamé, de zinc pur et d'une dissolution de sulfate de zinc neutre et saturée; on emploie également le couple à cadmium composé d'une lame de ce métal plongeant dans une dissolution saturée de sulfate de cadmium contenue dans un diaphragme de porcelaine dégourdie et d'une lame de zinc amalgamé, en contact avec une dissolution également concentrée de sulfate de ce même métal. La force électro-motrice de ce couple est environ 50 fois celle du couple étalon. On l'emploie quand

la force cherchée est considérable, afin de représenter 50 couples.

On trouvera dans le tableau suivant le résultat des expériences faites, à différents intervalles de temps, pour déterminer l'intensité de la force électro-motrice correspondant au courant osseux et montrer sa constance.

Voici les forces électro-motrices composées des différents couples employés à la détermination des forces électro-motrices du tissu osseux et autres tissus.

La force électro-motrice du couple étalon étant les 0,02 de celle du couple cadmium, celle-ci étant les 0,324 de la force électro-motrice du couple à sulfate de cuivre qui est elle-même les 0,58 de celle à acide nitrique, il en résulte que la première est les $0{,}02 \times 0{,}324 \times 0{,}58$ ou les 0,00376 de la force électro-motrice de cette dernière; si l'on représente par 100 celle-ci, on aura 0,376 pour la force du couple étalon.

Quatre fémurs de moutons nouvellement tués ont été disposés comme on vient de le dire pour former autant de couples, dont on a déterminé la force électro-motrice pendant plus d'un mois, en opérant toujours dans les mêmes conditions, afin d'avoir des résultats comparables. Voici les forces électro-motrices obtenues, en fonction du couple étalon, avec dissolution de sulfate de zinc neutre et saturée.

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	FORCES ÉLECTRO-MOTRICES		
	du 1er os	du 2me os	du 3me os
1	77	84	69
2	76	80	68
3	71	77	68
4	81	91	68
5	70	77	68
6	60	70	65
7	65	72	68
8	72	71	68
Moyenne......	71,50	77,7	68,00
Moyenne générale	72,4		

On voit, d'après ces résultats, que la force électro-motrice du couple osseux est à peu près égale à 0,356 × par 72, 4 ou 27, celle à acide nitrique étant 100 ou 0,27 de cette dernière, à peu près le $\frac{1}{4}$.

On ne doit pas être étonné des différences que l'on a trouvées dans les résultats consignés dans le tableau précédent, attendu qu'elles dépendent de plusieurs causes dont il n'est pas toujours facile de tenir compte et que je vais indiquer :

1° La différence dans la constitution et la composition des os;

2° Les variations qui peuvent se produire dans le courant de la pile servant de terme de comparaison, par les effets de polarisation, dont il est possible cependant de se garantir;

3° La dépolarisation des lames de platine qui servent à former le couple osseux et qui est plus ou moins complète,

quand on commence l'expérience ; aussi faut-il attendre souvent plusieurs heures avant de la répéter ; c'est une précaution indispensable à prendre pour le succès des expériences ; en opérant avec des aiguilles de platine pour électrodes, l'inconvénient n'est plus aussi grand, bien que la polarisation soit plus rapide. Dans un prochain mémoire, je ferai connaître la principale cause qui influe sur cette polarisation.

L'intensité du courant osseux étant à peu près constante, pendant un temps assez long, c'est une preuve que la composition de la matière organique de l'os est lente ; il semble résulter de là que la nutrition de l'os continue encore après la mort, comme pendant la vie, mais avec cette différence que dans le premier cas la nutrition s'opère aux dépens de la matière organique de l'os ; tandis que les parties enlevées pendant la nutrition sont remplacées par le mouvement du sang dans les capillaires qui enlève et restitue immédiatement à l'os ce qui lui a été enlevé.

Mes recherches sur la force électro-motrice du courant osseux m'ont conduit naturellement à étudier la force électromotrice des liquides parfaitement neutres, dans leur contact mutuel, dans celui avec l'eau distillée, puis dans le contact de cette dernière avec des composés solides, neutres, insolubles, non conducteurs de l'électricité et réduits en poussière ; les résultats obtenus ont fait connaître une propriété importante du corps, en parties bien ténues.

La détermination des forces électro-motrices exige de très-grandes précautions si l'on veut se mettre à l'abri des causes nombreuses d'erreurs qui sont presque inévitables dans des expériences de ce genre, surtout en employant des lames de platine plongeant dans des liquides, et dont la dépolarisation est

rarement complète, attendu que, lorsqu'elles ont été passées aux acides, puis chauffées au rouge, elles acquièrent des propriétés nouvelles quand on les plonge dans l'eau distillée, propriétés qui donnent lieu à des courants et dont l'étude m'occupe dans ce moment. Il suffit, au surplus, d'une action chimique excessivement faible, dont on ne peut se faire que difficilement une idée, pour produire un courant. Je rappellerai à ce sujet les expériences que j'ai faites pour déterminer la quantité d'électricité libre nécessaire pour décomposer un milligramme d'eau.

Il faut, pour décomposer un milligramme d'eau, 20,000 charges d'une batterie électrique de 1 mètre carré, chargée de façon à donner une étincelle à une distance de $11^{mm}25$; la quantité d'électricité associée à l'oxygène et à l'hydrogène dans un milligramme d'eau, laquelle, si l'on peut s'exprimer ainsi, représente leurs affinités réciproques, serait capable de produire les effets de la foudre; or, si l'on songe que la décharge d'un bâton de gomme laque électrisé par frottement dans l'eau distillée, au moyen de deux lames de platine, suffit pour polariser ces dernières par suite de la décomposition d'une quantité d'eau qui est une fraction excessivement petite de 1 milligramme d'eau, on en conclura qu'une réaction chimique d'une faiblesse extraordinaire sur les lames de métal plongeant dans l'eau, recouvertes de corpuscules qui réagissent sur cette dernière, dégagent assez d'électricité pour les polariser, en se rappelant toutefois que la quantité d'électricité nécessaire pour décomposer un milligramme d'eau est celle qui se dégage, lors de la combinaison de ses éléments.

La première disposition à faire est de séparer les deux dissolutions l'une de l'autre, de manière que le diaphragme

n'éprouve aucune action ni de l'une ni de l'autre ; on n'a que le choix entre la vessie, le papier parchemin, une mèche de coton ou d'asbeste, une bande de papier non collé ou un tube fêlé de verre.

La vessie doit être écartée par la raison que, la tunique musculaire externe se putréfiant rapidement et éprouvant des changements de structure, il en résulte des effets électriques complexes.

Le papier parcheminé obtenu par le traitement de l'acide sulfurique peut apporter dans les liquides des corps étrangers.

La mèche de coton humide ou d'asbeste qui sert à réunir les deux dissolutions peut être employée avec avantage, mais il vaut mieux le papier non collé.

Le tube fêlé donne la force électro-motrice résultant de la réaction des deux dissolutions l'une sur l'autre, mais il ne faut pas en faire usage quand il s'agit d'un corps en contact avec l'eau ; car il peut en résulter des effets complexes, comme je ledirai plus loin.

Détermination avec le tube fêlé.

	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.					La force électro-motrice du couple à acide nitrique égale 100.
	1re Exp.	2me Exp.	3me Exp.	4me Exp.	Moyenne.	
Chlorure de sodium..	4	3,5	5	4	4	1,50
Sulfate de potasse.....	24	15	23	15	19	7,14
Nitrate de potasse.....	5	8	8	5	6,5	2,44
Sulfate d'ammoniaque.	»	17	18	26	17	6,4

Ces résultats montrent que les dissolutions parfaitement neutres de sulfate de potasse, de sulfate d'ammoniaque, de chlorure de sodium et de nitrate de potasse, sont négatives dans leur contact avec l'eau distillée; que les sulfates ont une force électro-motrice qui est environ trois fois plus forte que celle résultant du contact de l'eau avec le chlorure de sodium et le nitrate de potasse.

Ce résultat tiendrait-il aux fortes affinités de l'acide sulfurique pour les bases? On voit par là que le mouvement moléculaire qui a lieu pendant la diffusion d'une dissolution saline dans l'eau est une cause de production d'électricité, laquelle est soumise à une loi d'après laquelle l'eau, à quelques exceptions près, quand les dissolutions sont parfaitement neutres, se comporte comme un acide dans les combinaisons, c'est-à-dire rend libre de l'électricité positive; les liquides de l'organisme qui sont plus ou moins alcalins rendent au contraire l'eau négative.

La force électro-motrice change avec le degré de saturation des dissolutions; ainsi une dissolution de potasse caustique à la densité de 1,215 au contact de l'eau donne une force électro-motrice égale à 9,40 (celle du couple à acide nitrique étant 100), tandis que, lorsqu'elle est étendue de 5 fois son volume d'eau, cette force n'est plus que 3, c'est-à-dire le tiers. Jusqu'ici le tube fêlé ne présente aucun inconvénient; mais il n'en est plus de même quand on introduit dans le tube fêlé qui contient de l'eau, du quartz, du spath d'Islande, du feldspath, du mica, etc., en poussière plus ou moins fine; dans ce cas on obtient constamment un courant dont le sens indique que l'eau du tube où se trouvent les poussières est négative et l'eau extérieure positive, bien

que ces substances ne soient pas attaquées par l'eau.

On a pensé que le courant électrique devait avoir une origine chimique provenant de l'alcali du verre; pour s'en assurer, on a répété les expériences dans deux vases en quartz dont l'un contenait une lame de platine et de l'eau distillée; l'autre était disposé de la même manière, mais on y a déposé successivement du spath d'Islande, du mica en poudre; ces deux vases communiquaient ensemble au moyen d'une bande de papier à filtrer et faisant partie d'un circuit dans lequel se trouvait un galvanomètre très-sensible, il n'y a pas eu de courant produit. Il est prouvé par là que celui que l'on a obtenu avec le tube de verre était dû à l'alcali qu'il contient. Les poussières, par suite de leur contact avec l'eau, prennent peu à peu de l'alcali au verre par une affinité capillaire; la poussière cède ensuite une partie de son alcali à l'eau, qui devient apte alors, par suite de son contact avec l'eau distillée ambiante, à produire un courant dont la direction indique que cette dernière est positive à l'égard de l'eau qui renferme des traces d'alcali. Cette propriété confirme les idées que M. Chevreul a émises sur les affinités capillaires. Il avait observé déjà anciennement un fait qui a rapport au précédent: ayant plongé un fil dans de l'eau de chaux titrée, il vit au bout de quelque temps que le titre était diminué; de la chaux s'était donc fixée sur le fil par affinité capillaire.

Pour donner une idée de la force électro-motrice qu'acquiert l'eau distillée dans son contact avec de l'eau contenue dans un tube de verre fêlé où se trouve une substance insoluble en poudre, je rapporterai les résultats de plusieurs expériences, les forces électro-motrices étant exprimées en

fonction de celle du couple à acide nitrique représentée par 100 :

NATURE DE LA SUBSTANCE EN POUDRE.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.	
	24 heures après la préparation.	plus de 10 jours après.
Spath d'Islande	2,26	4,89
Quartz en petits fragments	2,35	id.
Kaolin en pâte très-fine	2,66	id.
Mica	3,38	id.
Os fossile	2,81	id.
Os d'éléphant du diluvium des environs de Paris.	2,55	id.
Métatarsien de rhinocéros de Sansan (Gers)	2,26	id.

On voit par les nombres qui se trouvent dans la seconde colonne qu'au bout de 24 heures les forces électro-motrices approchent d'être égales, et que plus de dix jours après elles sont doublées et sensiblement égales.

Les substances réduites en poussière très-fine sont celles qui paraissent se charger le plus promptement d'alcali dans leur contact avec le verre et l'eau distillée. D'après ce qui précède on voit combien de précautions sont à prendre quand il s'agit de trouver les forces électro-motrices produites au contact des liquides et des corps solides, en employant des verres ordinaires où le fondant peut être cédé facilement à ces corps ; dans l'organisme, on n'a pas à craindre des effets de ce genre. Je reviendrai sur cette question dans le mémoire suivant, où je ferai connaître la propriété des lames de platine qui ont été chauffées plus ou moins et dont je ne connais pas encore au juste la cause.

Les résultats consignés dans le tableau précédent mettent

bien en évidence une propriété qui n'est pas sans intérêt. Les poussières de substances inertes non attaquables par l'eau, quelle que soit leur nature, s'emparent de l'alcali par l'effet de cette affinité; mais elles ne s'en emparent pas indéfiniment; il paraît y avoir de leur part un degré de saturation, de même que dans les combinaisons chimiques, puisque les forces électro-motrices sont sensiblement les mêmes, au bout d'un certain temps, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que les quantités d'alcali fixées sont à peu près les mêmes. De semblables effets peuvent être produits dans l'organisme, dans des cas morbides où il y a des dépôts en très-petits grains, comme dans la vessie par exemple, qui tendent à enlever l'alcali aux tissus voisins.

L'intervention des forces physiques dans les phénomènes de la vie avait été envisagée sous le même point de vue que le mien par M. Chevreul, dès 1824 (1); il avait montré que les forces dites de la nature inorganique agissaient efficacement dans la nature vivante; car, disait-il, comment un être organisé, après sa mort, présenterait-il la forme de l'être vivant, si les molécules n'obéissaient pas aux forces auxquelles nous attribuons l'union des molécules, sous la dénomination d'*affinité* ou de *cohésion*?

En 1837 (2), il revient sur ce sujet et montre que ce n'était pas par la destruction de forces inorganiques et de forces vitales qu'il fallait distinguer les êtres vivants

---

(1) *Considérations générales sur l'analyse organique et sur ses applications* (alinéas 329 et 324).

(2) Mémoire lu à l'Académie le 7 août 1837.

des êtres inorganiques, mais par la coordination des forces; c'est cette manière de voir qu'il vient de résumer en ces termes :

« La question métaphysique, telle que je la conçois se « rattacher à ces phénomènes (ceux de la vie), n'a rien à « démêler avec la nature des forces auxquelles nous rap- « portons immédiatement les effets des actions molécu- « laires, soit dans le monde vivant, soit dans le monde « inorganique; d'un ordre plus élevé, elle réside dans l'ar- « rangement des atomes pondérables, coordonnés avec l'en- « semble des forces chimiques et physiques, de manière que « ces arrangements d'atomes pesants, aussi divers que les « formes des espèces vivantes des deux règnes qu'ils repré- « sentent, se conservent depuis des siècles par la transmis- « sion des pères aux enfants (1). »

Je me borne dans mes recherches sur le système nerveux à constater l'existence des forces physico-chimiques et à montrer quels peuvent être les effets physiques et chimiques qui résultent de leurs actions. En un mot je ne m'occupe que des phénomènes qui sont accessibles aux recherches relatives aux courants électro-capillaires dans l'encéphale et le tissu nerveux.

Le tissu nerveux étant réparti dans toutes les parties des corps et concourant aux fonctions les plus élevées de la vie, on doit chercher quelles sont les forces électro-motrices produisant les courants qui concourent à leur nutrition et peut-être à d'autres fonctions. Pareilles recherches doivent

---

(1) Alinéa 225, *de la Méthode à posteriori expérimentale,* etc. (Dunod, 1870).

être faites à l'égard de l'encéphale. Voulant m'éclairer à cet égard, j'ai consulté le traité de chimie animale de Berzélius, dans lequel j'ai trouvé cette phrase remarquable :

« Le secret de la vie se trouve caché dans ce système, et, quoi-
« qu'il paraisse à notre portée, cependant nous ne pouvons
« le pénétrer. La chimie et la physique ne sont point encore
« arrivées et n'arriveront peut-être jamais au point de pouvoir
« expliquer une partie essentielle des fonctions du cerveau
« et des nerfs. Nous admirons les auteurs des chefs-d'œu-
« vre de l'industrie humaine, et il s'agit ici de la plus su-
« blime des œuvres du créateur de l'univers. »

Avant d'étudier les phénomènes dus à l'action d'une force, il faut, au préalable, prouver son existence, mesurer son intensité, puis déterminer son mode d'action; c'est la marche que j'ai toujours suivie dans les recherches que j'ai entreprises sur la production des courants électriques dans les corps organisés, courants agissant comme forces physiques et forces chimiques. Je ne me suis pas dissimulé les difficultés à vaincre pour atteindre ce but, vu les causes nombreuses qui interviennent dans la production des phénomènes ; on y parvient néanmoins dans certains cas. Il faut avoir égard surtout à la réaction des liquides séparés par des membranes, des tissus perméables à ces liquides et pouvant réagir les uns sur les autres par leur intermédiaire et produisant alors des courants qu'on pourrait attribuer à toutes autres causes qu'à des actions chimiques. Ainsi, en opérant avec l'appareil de M. Dubois-Raymond pour mettre en évidence le courant musculaire et le courant nerveux, on a des effets complexes résultant de la réaction des liquides de même nature humectant les coussins sur les liquides qui humectent l'intérieur et

l'extérieur des tissus, qui ne sont pas identiquement les mêmes, comme je l'ai démontré dans mes précédents mémoires. Aussi vaut-il mieux opérer comme je l'ai indiqué, afin d'éviter les causes d'erreur. J'aborde maintenant la question du tissu nerveux. Il existe deux systèmes nerveux chez les animaux d'un ordre supérieur, le système cérébro-spinal et le système du grand sympathique, qui remplissent deux fonctions différentes. Je ne m'occuperai nullement des propriétés physiologiques de ces deux systèmes, lesquels ne rentrent pas dans le cadre de mes recherches, mais bien de leurs propriétés physico-chimiques, sous le rapport des phénomènes de nutrition. Il ne sera question toutefois ici que du système cérébro-spinal et en premier lieu de l'encéphale.

L'encéphale présente dans son organisation toutes les conditions voulues pour produire une infinité de courants électro-capillaires donnant naissance à des effets physiques et chimiques qui entretiennent la vie dans toutes les parties de cet organe ; il suffit d'en donner une courte description pour en avoir la preuve. L'encéphale ou matière cérébrale est renfermé dans une enveloppe osseuse destinée à le garantir du choc des corps extérieurs et par suite des altérations que sa forme pourrait en éprouver. Il est divisé en deux parties, le cerveau et le cervelet. Le cerveau est partagé dans sa portion supérieure et suivant sa longueur et une partie de sa hauteur en deux parties symétriques ayant la même configuration. Le cervelet est formé également d'organes doubles, qui ne paraissent pas aussi nettement indiqués. La masse de l'encéphale est repliée sur elle-même afin de pouvoir se maintenir dans une cavité moins étendue que ne le comporte son volume.

Dans l'intérieur de la masse cérébrale se trouvent des cavités appelées ventricules qui communiquent entre elles ; le côté externe de la masse, surtout la partie supérieure, est gris jusqu'à une certaine profondeur, et le côté interne est blanc. Ces deux parties donnent lieu à des courants électro-capillaires qu'il importe de connaître, et qui doivent intervenir d'une manière que l'on ne peut définir encore dans les fonctions de cet important organe.

La couche grise peut être considérée comme la substance corticale et la substance blanche comme la substance médullaire ; on la retrouve dans tous les replis de l'encéphale. Entre ces deux couches s'en rencontre une autre mince de couleur jaune, dont je n'ai pu encore observer l'action électro-capillaire sur les deux autres, tant elle est difficile à saisir dans les expériences. Dans la moelle épinière, c'est l'inverse : la blanche est à l'extérieur, la grise à l'intérieur, ce qui donne lieu à des courants en sens inverse dirigés comme dans les nerfs et les muscles. La masse cérébrale, qui a une consistance très-faible et une texture extrêmement délicate, est traversée de toutes parts par des vaisseaux sanguins et leurs capillaires, et par des nerfs et leurs ramifications qui portent la vie dans toutes les parties dont elle se compose ; aussi les courants électro-capillaires qui naissent des vaisseaux et des nerfs sont-ils incalculables.

Dans le cervelet la distribution des nerfs est assez simple, tandis que la substance blanche est constituée uniquement de tubes nerveux parallèles, qu'on suppose non ramifiés et qui présentent tous les caractères de tubes centraux, condition qui multiplie encore les courants. Berzélius a dit avec raison « que c'est dans l'encéphale que se passaient les phé-

« nomènes *physiques* et *chimiques* les plus sublimes du corps « animal; mais la plus grande partie de ces phénomènes, « ajoute-t-il, dépasse les limites de notre conception. » Bornons-nous donc à mettre en évidence l'existence des forces physico-chimiques qui peuvent être mises en jeu dans le grand acte de la vie, sans nous préoccuper de la cause divine qui met en mouvement tous les rouages du système nerveux cérébral, siége de l'intelligence.

Si l'on veut se rendre compte des effets chimiques produits par l'action des courants électro-capillaires, il est nécessaire au préalable de prendre en considération la composition chimique dont se compose l'encéphale, laquelle joue un des principaux rôles dans la production des courants électro-capillaires qui sont dus à des actions chimiques, produites au contact des liquides, séparés par des tissus. La substance blanche et la substance grise ne présentent aucune différence dans leur composition chimique; le cerveau contient beaucoup d'eau et ressemble à une émulsion; l'eau contenue dans le cerveau tient en dissolution diverses substances qui n'appartiennent pas exclusivement à la matière cérébrale, car on les retrouve dans l'eau qui pénètre toutes les parties solides du corps, particulièrement les muscles. Cette similitude n'est pas sans quelque importance dans la production des courants électro-capillaires, résultant de la réaction du sang et du liquide intérieur des nerfs sur les liquides adjacents, car elle établit jusqu'à un certain point une corrélation entre tous ces courants sous l'empire des liquides.

Quant à la composition des deux substances grise et blanche, elle n'est pas aussi parfaite qu'eux d'après les effets

électriques produits dans leur contact et mentionnés plus haut.

Ce qu'il importe de connaître pour les recherches électro-chimiques, ce sont les principales membranes qui se trouvent dans l'organe, lesquelles séparent des liquides de composition différente. Le cerveau ainsi que la moelle épinière, qui ont la même composition, sont entourés de trois membranes : la membrane externe appelée dure-mère, et qui est une sorte de périoste ; au-dessous et parallèlement à cette membrane s'en trouve une autre, l'arachnoïde, membrane très-mince; puis une troisième membrane. La première, qui constitue le tégument du cerveau, s'enfonce dans les sillons produits par le plissement de sa surface. Ces membranes ont une composition chimique analogue à celle que l'on rencontre dans diverses parties du corps, mais leur porosité est la propriété qui nous intéresse le plus, puisque c'est la base indispensable de la production des courants électro-capillaires. On trouve dans les cavités ou ventricules du cerveau une petite quantité de liquide destinée, à ce qu'il paraît, à tenir les parois de ces excavations écartées l'une de l'autre, afin de ne pas contracter l'adhérence ensemble. Ce liquide paraît être du sérum étendu de beaucoup d'eau. D'autres liquides de l'organisme ont la même composition; ces liquides interviennent également dans les phénomènes électro-capillaires. La composition de ces liquides doit donc être également un sujet d'étude pour quiconque s'occupe de recherches relatives à ces phénomènes.

Les nerfs sont des tubes composés de lamelles membraneuses minces, dont les intervalles sont remplis de matière cérébrale, émanant du cerveau avec lequel ils sont en rela-

tion par l'une de leurs extrémités, et dont l'autre se perd dans l'intérieur en filets extrêmement déliés.

La moelle des nerfs paraît avoir une composition tout à fait analogue, sinon identique, avec celle du cerveau. Suivant Vauquelin, elle contient plus d'albumine, mais moins de stéarine et une plus grande quantité d'oléine. La membrane appelée névrilemme qui recouvre les nerfs est un prolongement de l'enveloppe du cerveau, la pie-mère; cette corrélation en établit une entre les courants électro-capillaires.

Un ganglion nerveux est un corps rougeâtre ou grisâtre de volume et de forme variables ; la consistance en est molle et spongieuse ; la coupe en paraît homogène, sans traces de fibres ; ils n'ont aucune analogie avec la moelle nerveuse et le névrilemme. Le ganglion sera le sujet d'une étude spéciale.

Je ne cherche dans ces mystérieux phénomènes que l'intervention des forces physico-chimiques dont la production est due au contact des liquides qui se trouvent dans le cerveau, séparés par des tissus, et dont la nature n'est pas la même dans les vaisseaux, les nerfs, et la substance blanche et la substance grise ; ainsi, dans le sérum, qui remplit les cavités, ce contact est la cause des courants électro-capillaires.

Les liquides de l'organisme sont plus ou moins alcalins ; dans ce cas le liquide le plus alcalin est négatif relativement à celui qui l'est moins. On a vu précédemment que la composition de la matière cérébale était sensiblement la même que celle de la moelle qui se trouve dans l'intérieur du tissu nerveux et par conséquent que celle de la moelle épinière.

Or la matière cérébrale est formée, comme on l'a vu précédemment, de la substance blanche et de la substance grise

qui la recouvre et lui sert par conséquent d'enveloppe; quoique ces deux substances présentent peu de différence dans leur composition, néanmoins il en existe une cependant qui suffit pour produire des courants électro-capillaires, lesquels doivent intervenir dans les fonctions cérébrales. On a introduit pour avoir la force électro-motrice des deux substances, du moins des liquides qui humectent les parties dont elles se composent, nerfs, vaisseaux, etc., une aiguille dépolarisée dans la substance grise, une autre dans la blanche de la cervelle d'un mouton récemment tué; les deux fils ayant été mis en communication d'une part avec un galvanomètre de 24,000 tours, et de l'autre avec la pile à couple étalon, cheminant en sens inverse du courant dont on cherche la force électro-motrice, on a obtenu les résultats suivants.

Dans une première série d'expériences on a eu un courant de l'extérieur à l'intérieur, c'est-à-dire de la substance grise à la substance blanche, courant ayant une force électro-motrice qui a varié de 9 à 10; dans une deuxième série, cette force a varié de 11 à 12, de sorte qu'en moyenne la variation a été de 10 à 11 fois la force électro-motrice du couple étalon composé de zinc amalgamé, zinc ordinaire poli et dissolution de sulfate de zinc saturée; cette force est donc égale au $\frac{1}{10}$ de celle d'un couple à acide nitrique; ce résultat indique des actions physico-chimiques incessantes entre la substance blanche et la substance grise, dont on ne peut encore connaître les effets. Ces deux substances sont traversées par des capillaires et des filets nerveux qui sont tellement fins qu'il n'est pas possible de les soumettre à l'expérience. On peut conclure toutefois de ce qui a été dit

précédemment touchant les courants musculaires et nerveux, que les courants correspondants dans les capillaires doivent avoir la même direction et la même intensité, puisque l'origine de ces courants est la même. Ces courants cheminent dans les muscles de l'intérieur à l'extérieur; et il y en a autant dans un nerf qu'il y a de tissus séparant des liquides différents.

D'après cela, voyons ce qui arrive dans le cerveau, qui a pour composition :

Eau	88
Albumine	7
Cérébrate de soude	5
Oléo-phosphate de soude	
Margarate	
Margarine	
Oléine	
Cholestérine	
	100

Est comprise dans cette analyse la substance des nerfs et des vaisseaux qui traversent l'encéphale dans toutes les directions et par l'intermédiaire desquels s'opèrent les phénomènes de nutrition.

Cette analyse est insuffisante pour l'examen des phénomènes électro-capillaires. La substance grise et la substance blanche ont la même composition, mais il existe cependant une différence dans celle des liquides qui les humectent, puisque le courant observé ne peut provenir que de cette différence.

La matière grasse est un des principaux éléments de la substance cérébrale ; il était nécessaire d'examiner comment

agit l'air sur cette matière, et par suite l'oxygène de l'air transporté dans le cerveau par les vaisseaux artériels, comme dans toutes les parties de l'organisme. De l'action qu'éprouve la matière grasse au contact de l'air, on peut conclure ce qui se passe dans celle du cerveau.

Dans un animal à sang chaud, le tissu cellulaire renferme une grande quantité de graisse, dont on ne connaît pas encore la formation, quoiqu'on ait fait bien des hypothèses pour l'expliquer; on avait pensé qu'en raison de son insolubilité dans l'eau, elle devait se former là où elle existe, mais on a rejeté cette hypothèse depuis que l'on a reconnu qu'elle se trouve dans presque tous les liquides du corps à l'état d'acide gras; à la vérité, celle qui existe dans le tissu cellulaire n'est jamais acide dans l'état de santé; elle disparaît en outre, dans un corps privé de nourriture; on est porté à croire qu'elle supplée alors à l'alimentation. J'ajouterai enfin qu'une partie de la graisse est introduite avec la nourriture. J'ajouterai que la graisse est composée de stéarine et d'oléine, c'est-à-dire de plusieurs graisses possédant des propriétés communes et pouvant s'acidifier en prenant de l'oxygène au sang artériel.

Lorsqu'on introduit de la graisse de mouton dans un os du même animal, dont on a enlevé la moelle, et qu'on ferme le circuit au moyen de deux aiguilles de platine dépolarisées en relation avec un galvanomètre très-sensible, l'une des aiguilles étant dans l'intérieur de l'os, l'autre à l'extérieur, on obtient un courant allant de l'extérieur à l'intérieur dans une direction inverse de celle du courant musculaire, nerveux et osseux; dans la moelle allongée et la moelle épinière, où la substance blanche est à l'extérieur, le courant

est en sens inverse et suit par conséquent la même direction que le courant musculaire. D'un autre côté, la substance grise comme la substance blanche, étant pourvues de vaisseaux capillaires et de nerfs, ont chacune, comme les muscles, leurs courants électro-capillaires qui concourent à leur nutrition. L'autre courant, qui est dû au contact des deux liquides humectant la substance grise et la substance blanche, a une autre origine que les courants électro-capillaires, comme il est facile de le montrer.

Les courants électro-capillaires sont produits au contact du sang artériel et des liquides des tissus adjacents par l'intermédiaire des enveloppes des vaisseaux contigus. Les courants observés dans les deux substances grise et blanche produisent des composés différents, comme l'indiquent les effets électriques observés au contact des deux substances à l'aide de deux aiguilles de platine, d'où résulte alors un courant spécial qui n'a qu'un rapport très-indirect avec les courants électro-capillaires; le liquide qui humecte la substance blanche est moins alcalin que celui qui se trouve dans la substance grise, ce qui résulte de la direction du courant. Cela indiquerait-il une plus grande activité électro-chimique dans la substance grise? On est porté à le croire sans pouvoir l'affirmer.

On peut se demander maintenant ce que devient dans l'animal vivant l'électricité dégagée au contact de la substance blanche et de la substance grise. Voici la réponse que l'on peut faire.

Ces deux substances sont séparées par une trame très-légère, indispensable à l'existence des courants électro-capillaires, sources d'actions physiques et chimiques qu'il n'est

pas possible de préciser encore ; néanmoins on peut indiquer la nature des effets produits : le contact de la substance blanche avec la substance grise donne lieu à un courant électro-capillaire allant de la première à la seconde, dont la direction par conséquent indique que la surface de contact de la substance grise est le pôle positif du couple et la surface blanche le pôle négatif. Sur la première il y a des effets de réduction ; sur la seconde, au contraire, des effets d'oxydation. Ces courants sont indépendants de ceux qui sont propres aux vaisseaux et aux nerfs, qui ont un but spécial. Telles sont les conséquences qu'il est possible de tirer jusqu'ici des recherches entreprises dans le but de mettre en évidence quelques-unes des séries de courants électro-capillaires de l'encéphale.

Les nouvelles recherches que j'ai faites sur les courants osseux contribueront, je crois, à jeter quelque jour sur la conservation plus ou moins prolongée de la matière organique du tissu osseux et dont j'ai fait une application aux os fossiles, dont la destruction lente, avec conservation de la forme, dépend en outre de causes nombreuses et variées qu'il est bien difficile d'indiquer.

J'expose ensuite le commencement de mes recherches.

Un courant osseux est formé d'un os, dans l'intérieur duquel on introduit une lame de platine dépolarisée et dont la surface est recouverte d'une lame semblable ; le tout plonge dans de l'eau distillée. Ce couple possède une force électromotrice, cause du courant qui représente la somme des couples électro-capillaires de l'os, qui n'exigent pour leur existence que deux liquides différents séparés par une membrane, un tissu poreux, dont les parois des cellules remplacent les corps solides conducteurs dans les couples

en usage. C'est ce qui arrive dans l'appareil du couple fêlé servant à la réduction des métaux.

Quatre fémurs de moutons nouvellement tués, soumis à l'expérience pendant plus d'un mois, ont donné des forces électro-motrices différant peu entre elles, dans leur intensité et leur constance. Cette force est à peu près le quart de celle d'un couple à acide nitrique. Ne peut-on pas en tirer la conséquence vraisemblable que les phénomènes de décomposition qui se manifestent dans les os pendant la vie ont lieu également quand elle a cessé, mais avec cette différence que, dans le premier cas, les parties enlevées sont remplacées par l'effet de la circulation du sang, tandis qu'après la mort il en résulte une destruction lente et non interrompue?

J'ai pensé que l'on pouvait partir de ces résultats pour étudier les changements qu'éprouvent successivement les os fossiles dans leur composition, sans changer de forme dans le cours des siècles, pourvu qu'on ait égard aux conditions nombreuses et variées dans lesquelles ils se trouvent. Les courants électro-capillaires et autres, dans la nature organique, ne proviennent pas de la réaction directe de l'oxygène transporté par le sang artériel, dans les capillaires, sur les parties constituantes de la matière organique, qui n'est pas conductrice de l'électricité, mais bien de la force électromotrice produite au contact du liquide tenant en dissolution les composés résultant de cette réaction et du liquide ambiant.

Le courant électrique produit dans ce contact est dû, soit à une action chimique tellement faible quelquefois que l'on ne peut s'en faire une idée, soit à une action moléculaire, telle que la diffusion. Il est facile de montrer qu'une action

chimique excessivement faible, dont on ne peut pas se faire une idée, donne lieu à un courant électrique appréciable au galvanomètre le plus sensible.

Faraday a observé qu'il fallait 800,000 charges d'une batterie composée de quinze jarres de 2^{d} 032 de hauteur et de 0^{m} 586 de circonférence pour décomposer 0^{g} 065 d'eau, ou 12,300 charges d'une batterie de 1^{mq} pour décomposer un milligramme d'eau.

J'ai trouvé de mon côté, par une méthode différente de celle de Faraday, qu'il fallait 20,000 charges d'une batterie de 1^{m} de superficie chargée de manière à donner des étincelles à une distance de 11 millimètres pour décomposer un milligramme d'eau ; cette quantité serait capable de produire les effets de la foudre. Or, quand l'on songe que la décharge dans l'eau distillée, au moyen de deux lames de platine de l'électricité produite par le frottement d'un bâton de gomme laque, laquelle est excessivement faible relativement à la charge de la batterie, suffit pour polariser ces lames par l'effet d'une décomposition instantanée de l'eau, on concevra facilement qu'une action chimique dont les procédés ordinaires de la science ne pourraient accuser l'existence peut être rendue sensible au galvanomètre. On voit par là que le moindre corps étranger sur lequel l'eau n'a aucune action apparente et qui adhère à une des lames de platine suffit pour les polariser.

On a fait usage pour cloison séparatrice de la fêlure d'un tube de verre qui réunit les conditions voulues pour la constitution des couples.

Les résultats obtenus montrent que les dissolutions parfaitement neutres de sulfate de potasse, de sulfate d'ammo-

niaque, de chlorure de sodium et de nitrate de potasse sont négatives dans leur contact avec l'eau distillée; que les sulfates donnent une force électro-motrice avec l'eau distillée qui est cinq fois plus forte que celle résultant du contact de l'eau avec le nitrate de potasse ou le chlorure de sodium.

En soumettant à l'expérience des substances telles que le quartz, le spath d'Islande, le sulfate de baryte, le feldspath (orthose), on trouve une force électro-motrice appréciable au contact de l'eau distillée du quartz, du sulfate de baryte, du mica décomposable, et de l'orthose.

Ces substances ne sont donc pas d'une insolubilité absolue dans l'eau, comme on le verra dans un prochain mémoire, où je traite cette question à fond.

J'ai abordé ensuite la question des os fossiles. On trouve des os fossiles dont les cartilages sont encore assez bien conservés pour les réduire en gelée ; il n'y a que les os fossiles des plus anciennes formations qui ne renferment plus de matière organique, laquelle a été remplacée par des substances étrangères qui constituent la pétrification.

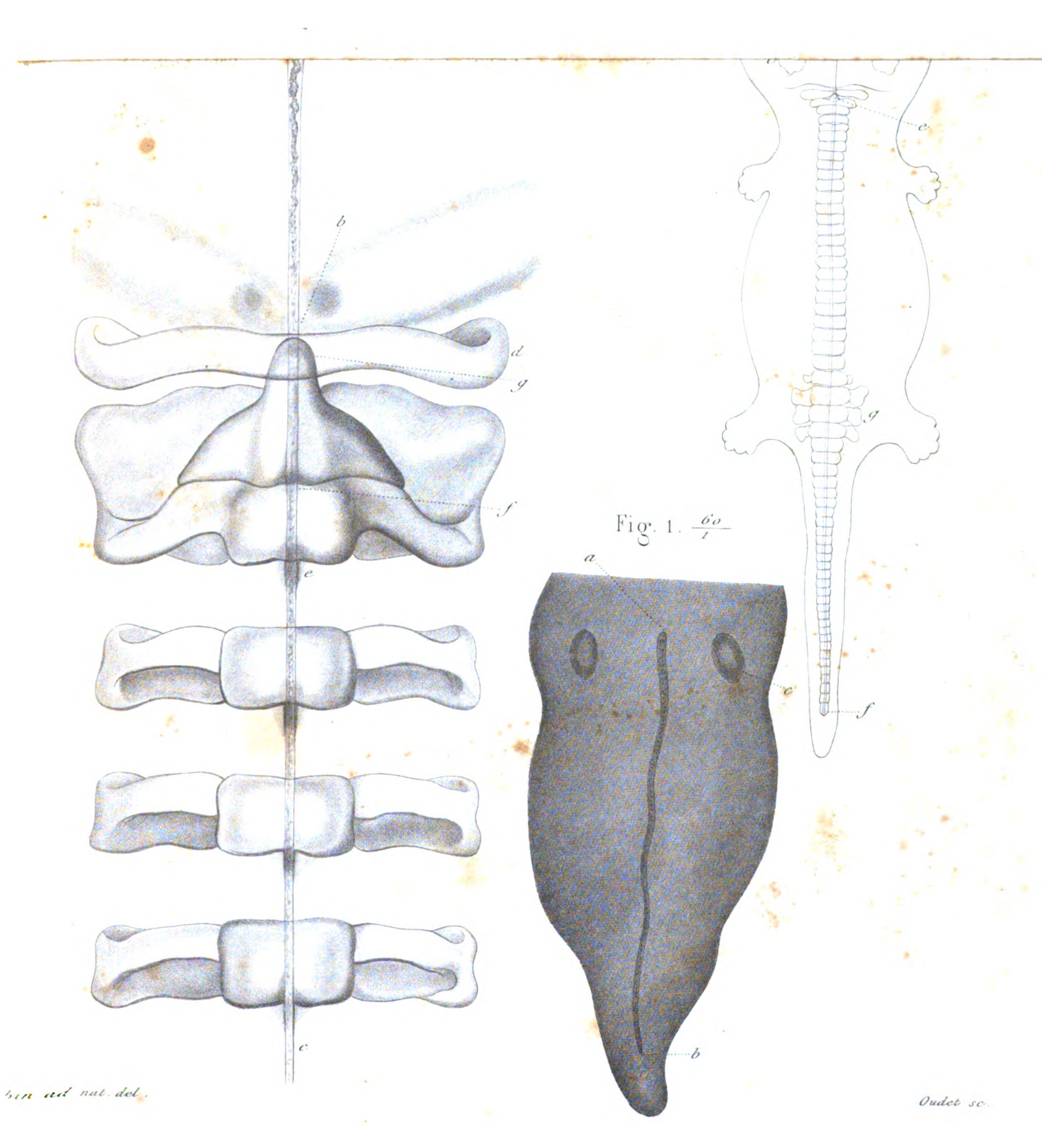
Les os fossiles dont j'ai cherché la force électro-motrice dans leur contact avec l'eau distillée après avoir été pulvérisés et dégagés autant que possible de matières étrangères, sont les suivants, la force électro-motrice du couple à acide nitrique étant 100 :

	Force électro-motrice.
Métatarsien de rhinocéros, de Sausan (Gers)	6
Os d'éléphant diluvien des environs de Paris.....	6
Os de bœuf de la grotte de Dobréga (Vieille-Castille) âge de pierre polie..........................	2

Si l'on compare ces forces électro-motrices à celle d'un ti-

bia de mouton récemment tué, qui est égale à 27, on a une valeur approchée des quantités de matières organiques qui restent encore dans les os fossiles de différents âges, en même temps qu'on aura la preuve de la lenteur avec laquelle s'opère la décomposition de la matière animale dans le cours des siècles. J'ai opéré, à la vérité, dans le cas le plus simple, celui où l'os réduit en poussière est en contact avec l'eau distillée et l'air, car, dans les terrains où se trouvent les os fossiles, tantôt ils sont humides, tantôt plus ou moins secs, chargés de matières plus ou moins altérables et solubles dans l'eau, conditions qui influent sur la décompoition des matières organiques contenues dans les os. Il n'est pas impossible néanmoins de rencontrer des terrains fossilifères de différents âges dans les mêmes conditions physiques et chimiques, où les substances organiques éprouveraient une décomposition lente et successive qui permettrait peut-être de relier la chaîne des temps.

FIN DU TOME TRENTE-SIX.



NOTOCORDE DE L'HOMME, DU RAT ET DU MOUTON.

Fig. 4. $\frac{40}{1}$

d f h i e g a b c

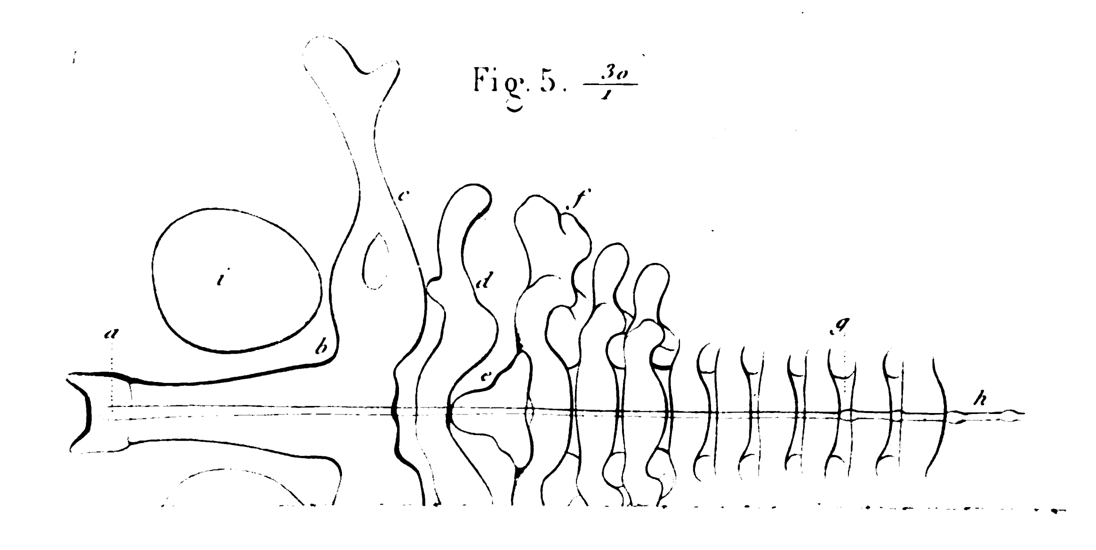
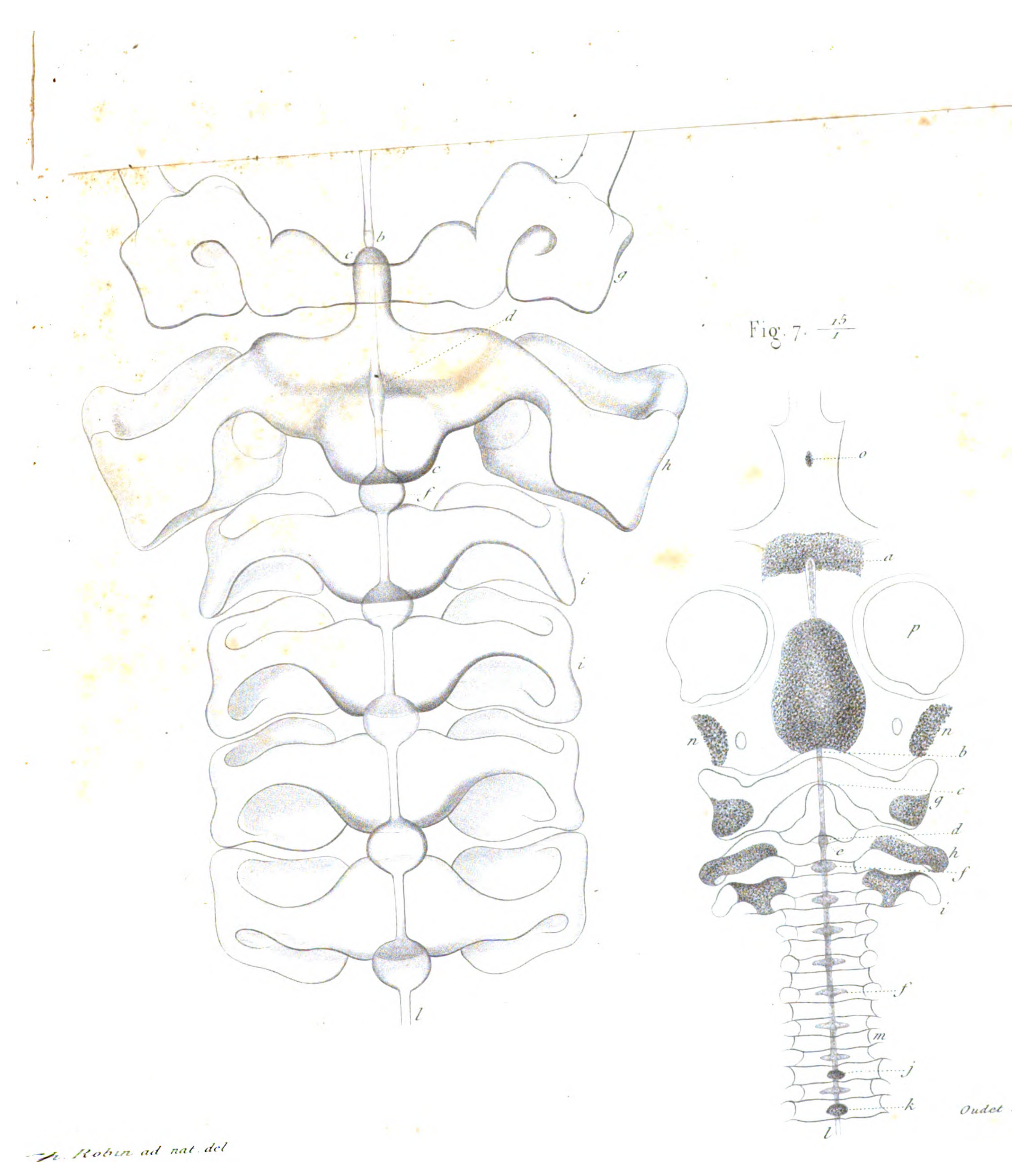


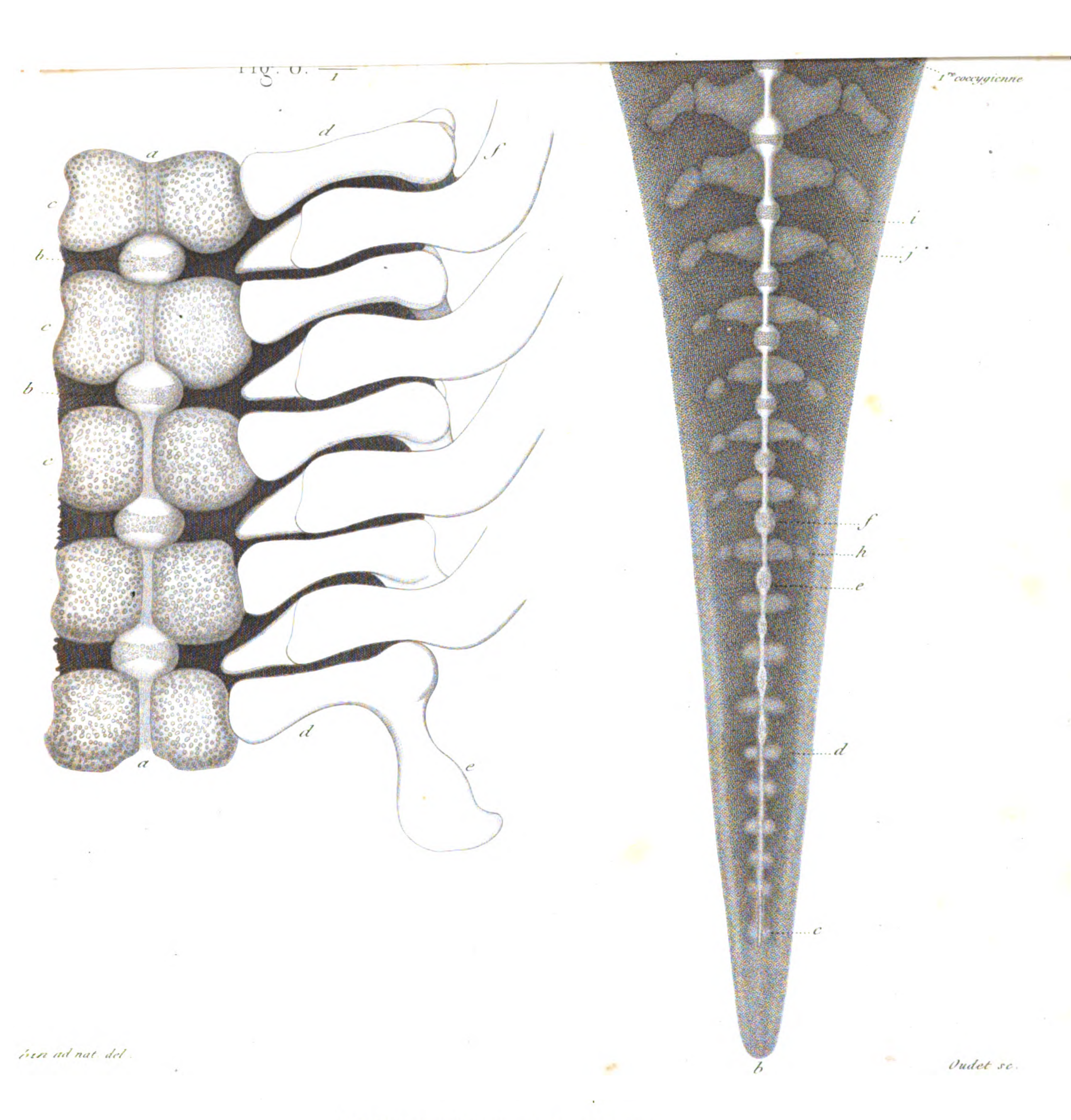
Fig. 5. $\frac{30}{1}$



Ch. Robin ad nat. del

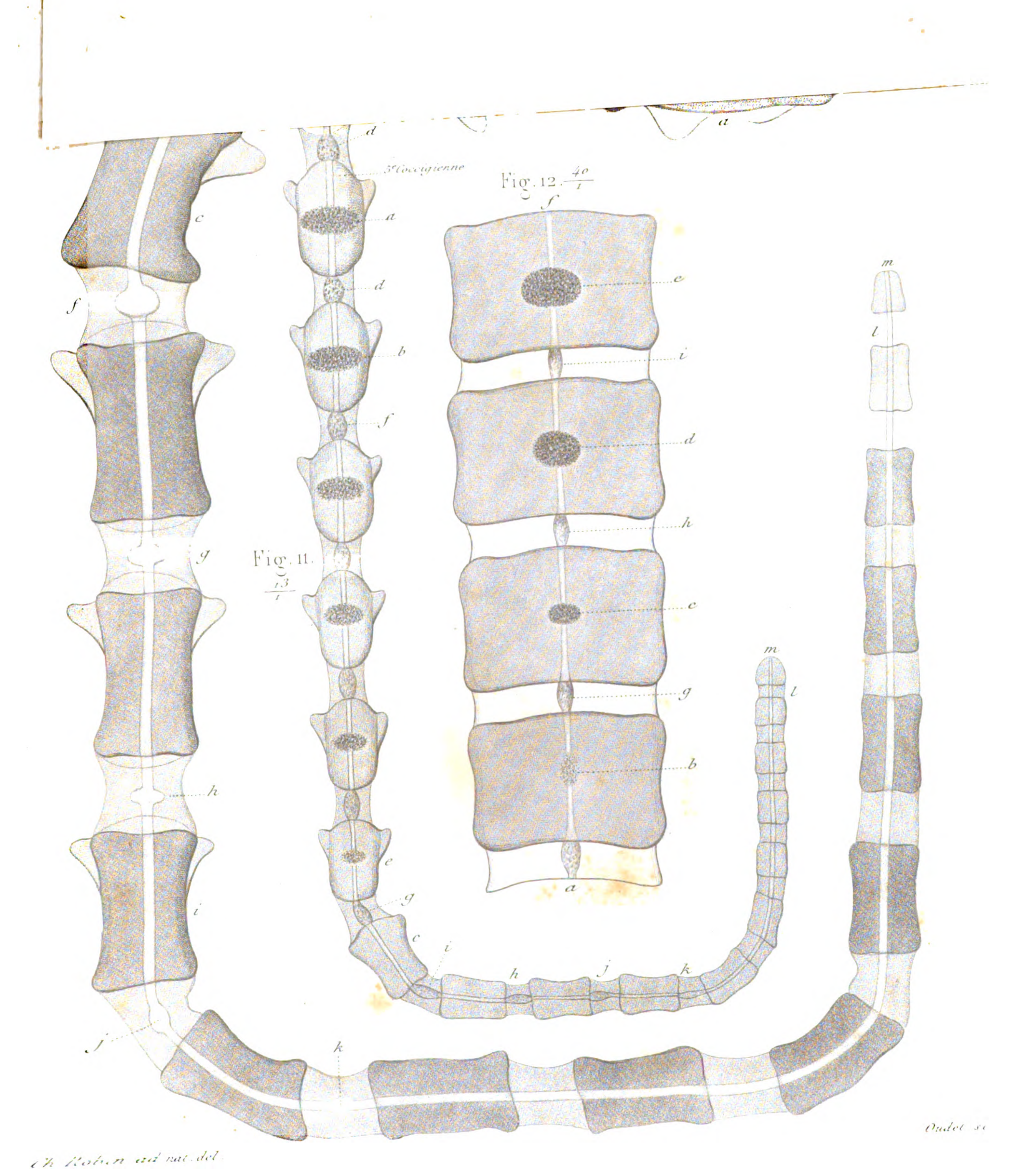
NOTOCORDE DU LAPIN ET DU RAT.

Imp. Ch. Chardon aîné, à P.



NOTOCORDE DU LAPIN.

Imp. Ch. Chardon aîné, à Paris



Ch. Robin ad nat. del.

Oudet sc.

NOTOCORDE DU VEAU, DU PORC ET DU MOUTON.

Fig. 13. $\frac{11}{1}$

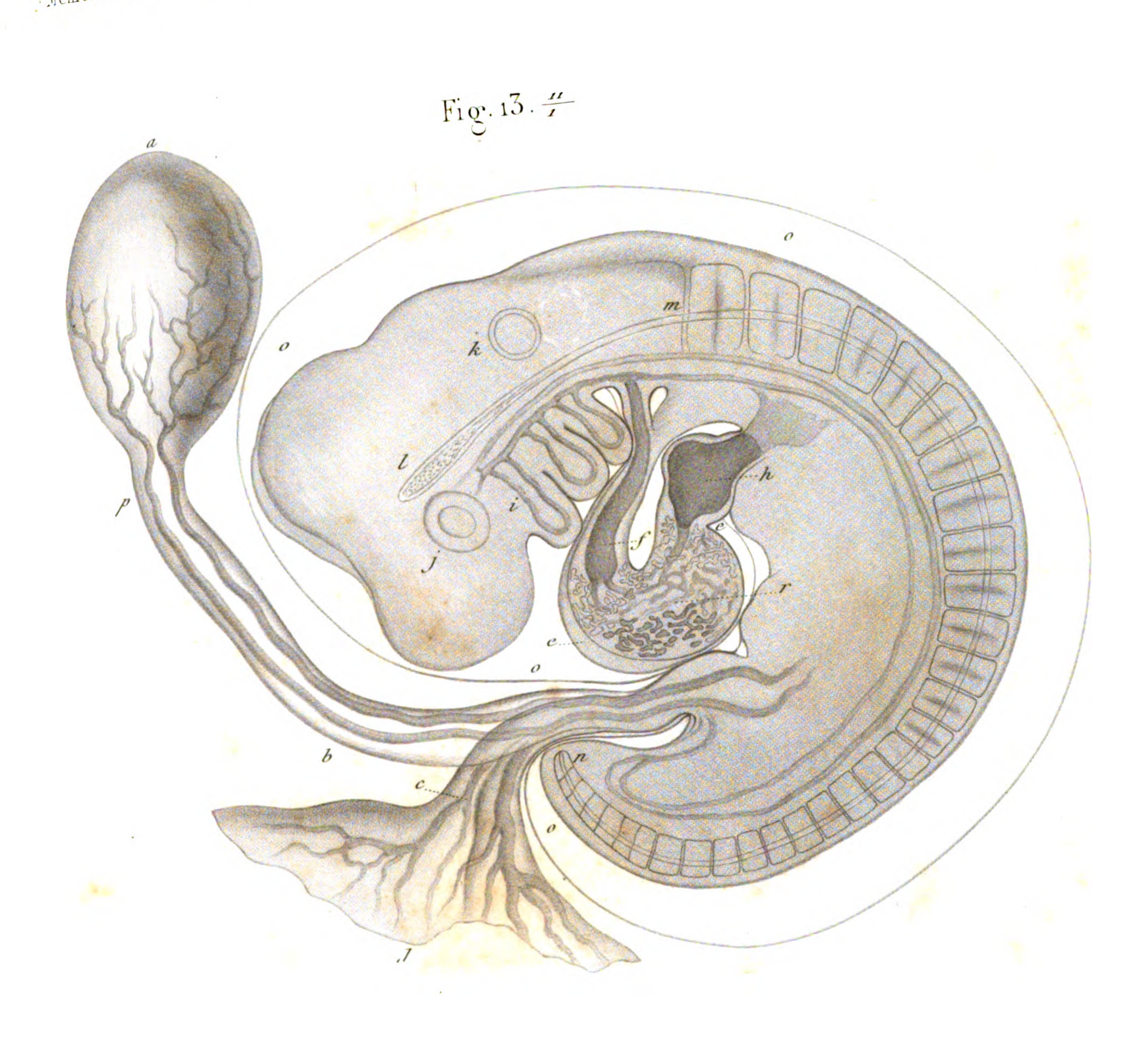
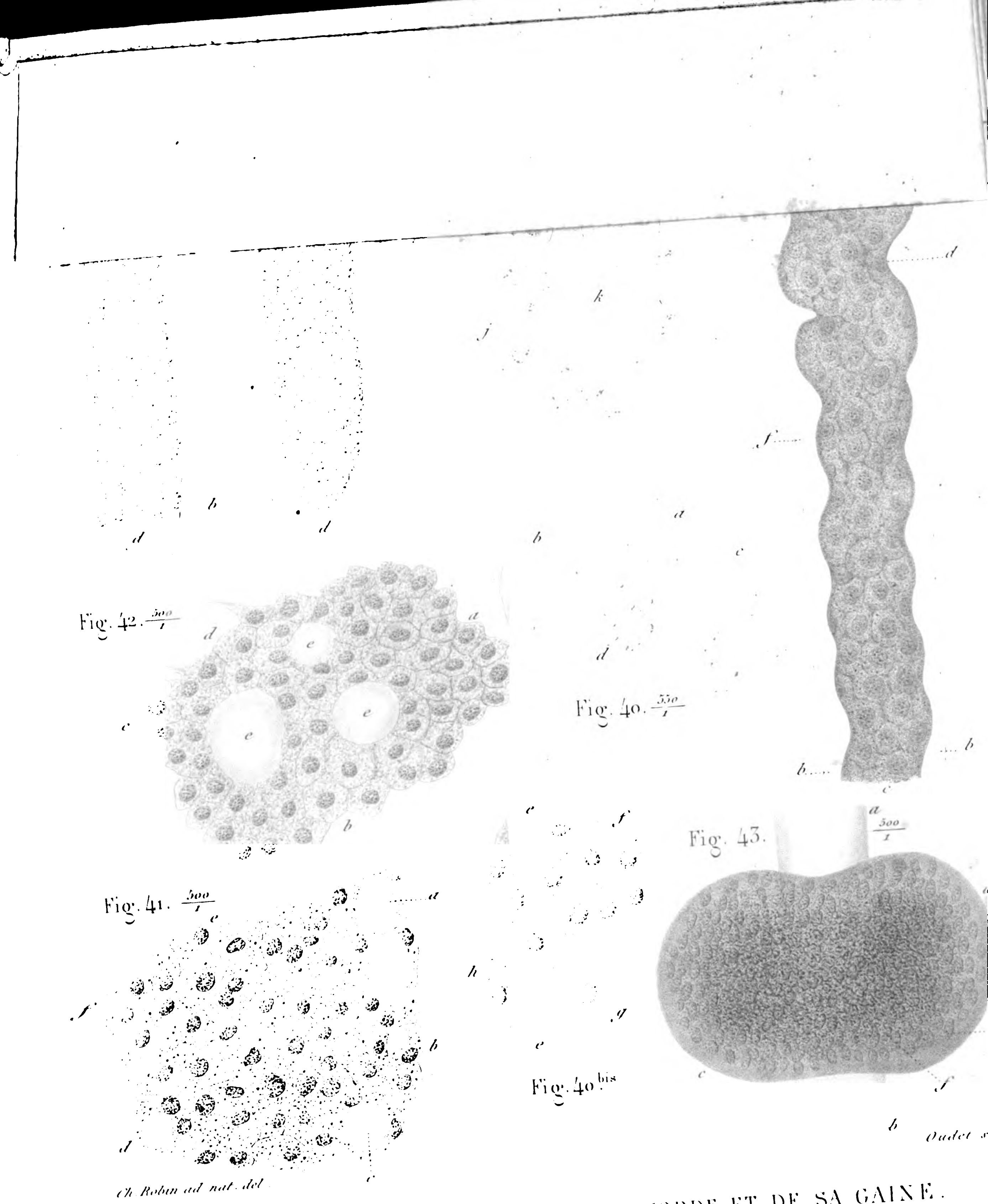


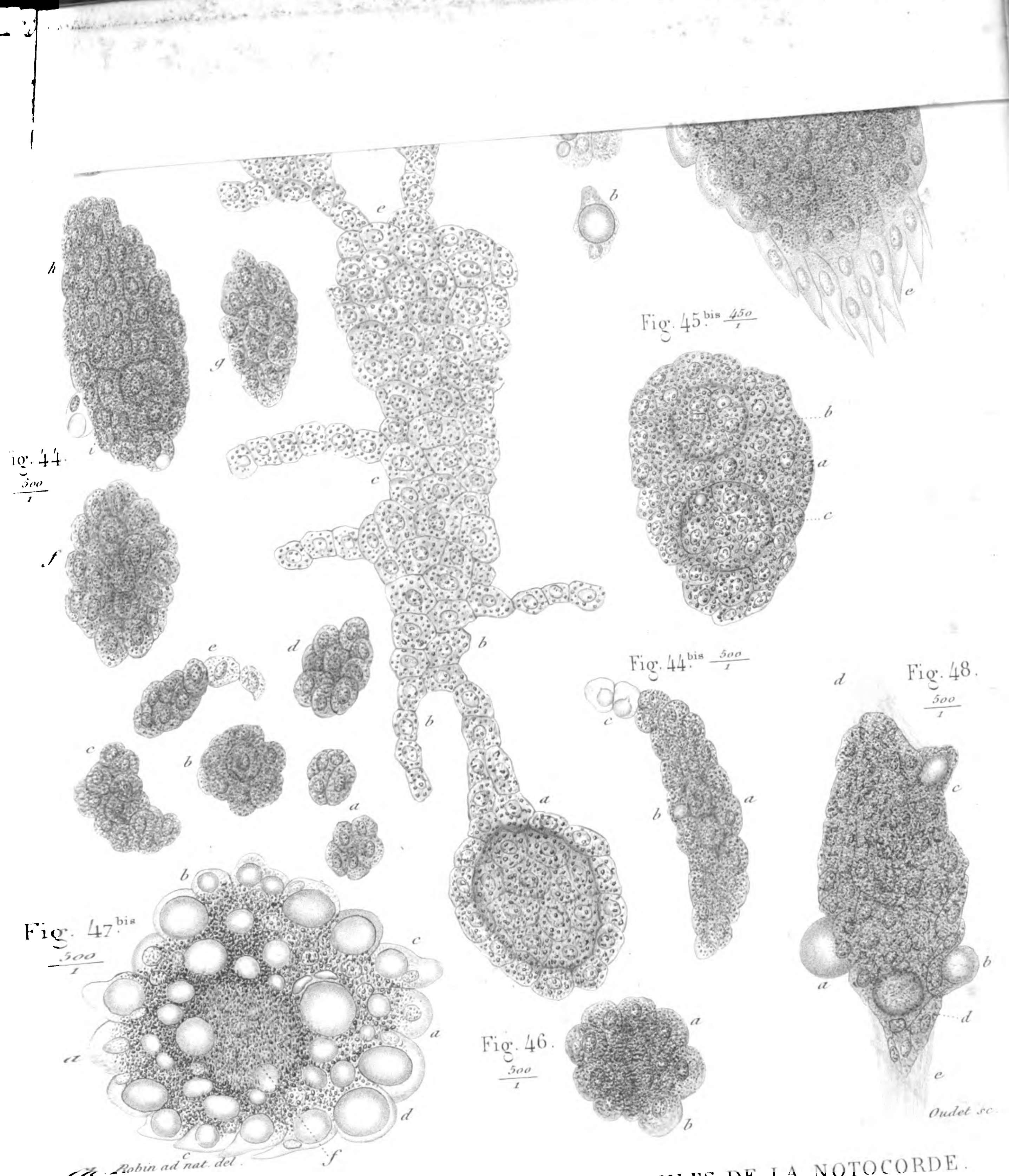
Fig. 14. $\frac{30}{1}$

g

Imp. Ch. Chardon aîné à Paris



ÉLÉMENTS ANATOMIQUES DE LA NOTOCORDE ET DE SA GAINE.



MODIFICATIONS ÉVOLUTIVES DES CELLULES DE LA NOTOCORDE.

Imp. Ch. Chardon ainé, à Paris.

Fig. 51. $\frac{500}{1}$

a b c d e f g h i

Fig. 49. $\frac{500}{1}$

a b

Fig. 52. $\frac{500}{1}$

a b

Fig. 50. $\frac{500}{1}$

Fig. 54. $\frac{500}{1}$

a b c

Fig. 55. $\frac{500}{1}$

a b c d

Fig. 53. $\frac{500}{1}$

a b c d f g

Fig. 56. $\frac{500}{1}$

a b c

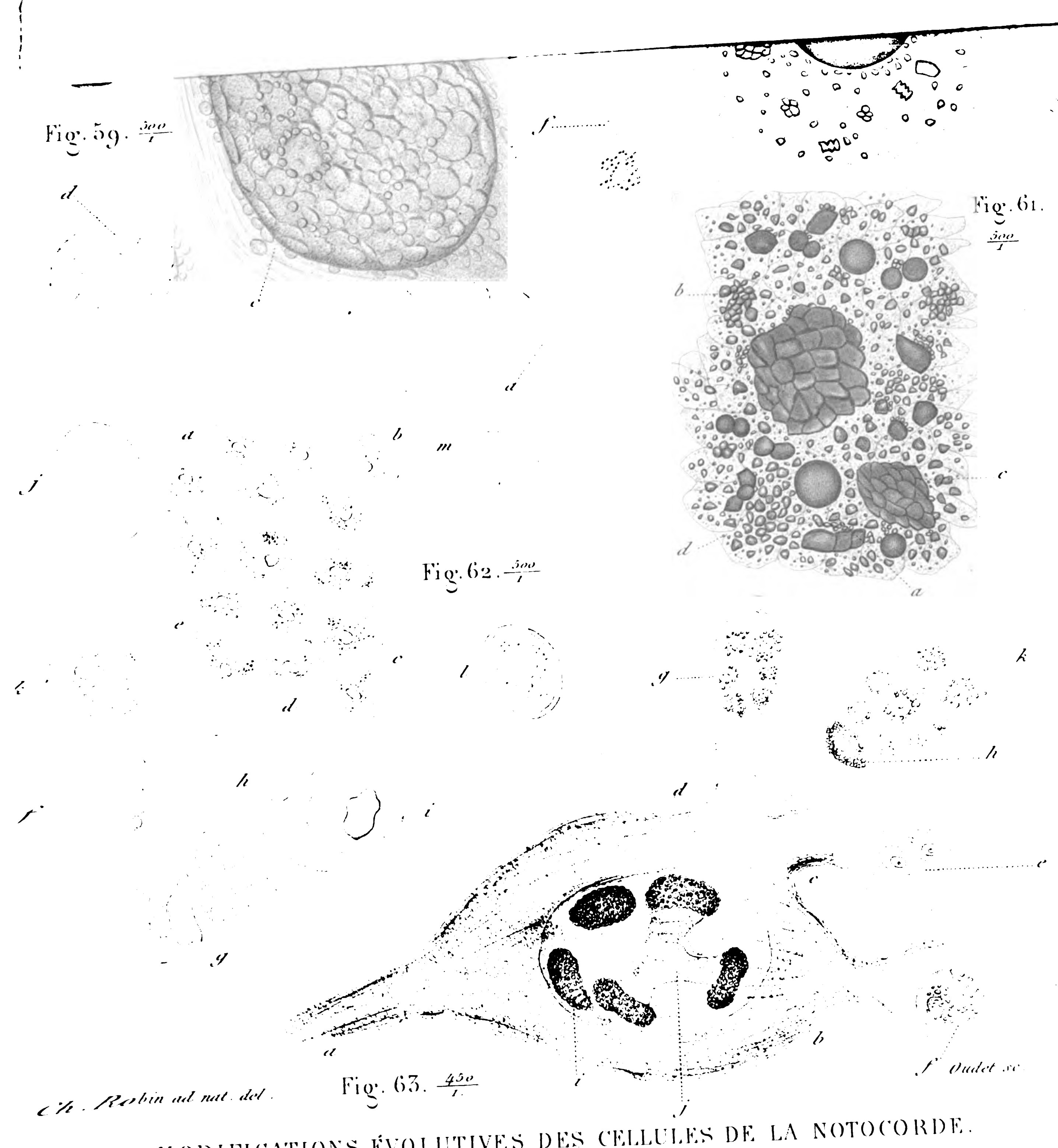
Fig. 57. $\frac{500}{1}$

a d

Fig. 58. $\frac{500}{1}$

c d

Imp. Ch. Chardon aîné Paris.



MODIFICATIONS ÉVOLUTIVES DES CELLULES DE LA NOTOCORDE.

Imp. Ch. Chardon aîné, Paris.


Digitized by Google

